

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Adrian Antolić**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Adrian Antolić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr .sc. Ivici Garašiću na mentorstvu, potpori i korisnim savjetima tijekom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem tvrtki Monter Strojarske Montaže d.d. koji su mi pomogli pri izradi ovog rada te pruženoj tehničkoj podršci i dokumentaciji. Posebno se zahvaljujem Direktoru sektora upravljanja kvalitetom dipl. ing. Tomislavu Kelavi te dipl. ing. Filipu Cuparu na susretljivosti, suradnji i korisnim savjetima.

Naposljetku, zahvaljujem se svojoj obitelji na razumijevanju i pruženoj podršci tijekom studija.

Adrian Antolić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Adrian Antolić**

Mat. br.: 0035188772

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Sustav osiguravanja kvalitete pri zavarivanju opreme pod tlakom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Quality Assurance System in Welding of Pressure Equipment**

Opis zadatka:

Analizirati aspekte sustava osiguravanja kvalitete pri zavarivanju opreme pod tlakom kroz sve korake u proizvodnji. Odrediti kritična mjesta u sustavu koja mogu utjecati na cjelovitost i kvalitetu proizvoda uzimajući u obzir potrebne ljudske resurse, tehnologiju, opremu i ispitivanja. Obrazložiti tražene kriterije kvalitete kroz nekoliko karakterističnih normi koje definiraju proizvodne i ispitne zahtjeve za opremu pod tlakom.

U eksperimentalnom dijelu provesti analizu postojećeg sustava osiguravanja kvalitete na odgovarajućem proizvodu i realnoj proizvodnji. Izdvojiti ključne elemente koji predstavljaju najveći rizik za kvalitetu proizvoda na temelju proizvodne dokumentacije i izvještaja o ispitivanju. Ustanoviti ispunjenje zahtjeva sukladno predmetnoj proizvodnoj normi i tehničkoj regulativi, te predložiti mogućnosti za unaprijeđenje postojećeg sustava.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
11. svibnja 2017.

Rok predaje rada:  
13. srpnja 2017.

Predviđeni datum obrane:  
19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Ivica Garašić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PRAVILNICI O OPREMI POD TLAKOM U REPUBLICI HRVATSKOJ .....	3
3. ANALIZA SUSTAVA OSIGURANJA KVALITETE TLAČNE OPREME KROZ SVE KORAKE U PROIZVODNJI.....	6
4. KRITIČNA MJESTA U SUSTAVU .....	16
4.1. Naprezanja i deformacije pri eksploataciji.....	16
4.1.1. Statičko opterećenje .....	19
4.1.2. Dinamičko opterećenje.....	20
4.2. Materijali za izradu tlačnih posuda.....	22
4.2.1. Svojstva materijala koja pri odabiru materijala treba uzeti u obzir .....	24
4.2.2. Kontrola i osiguranje kvalitete.....	25
4.3. Konstrukcija tlačnih posuda .....	27
4.3.1. Konstrukcija temeljena na proračunu.....	28
4.3.2. Konstrukcija temeljena na eksperimentu .....	30
4.3. Proizvodnja tlačnih posuda .....	32
4.3.1. Zavarivanje tlačnih posuda.....	32
4.3.2. Ljudski resursi .....	36
4.4. Korozija tlačnih posuda.....	39
4.4.1. Načini drenaže i odzračivanja.....	40
5. SIGURNOST I SIGURNOSNI ZAHTJEVI OPREME POD TLAKOM.....	42
8.1. Sigurnosni pribor .....	45
6. OSIGURANJE KVALITETE ZAVARENIH SPOJEVA.....	47
6.1. Postupci kontrole .....	47
6.2. Kontrola prije zavarivanja.....	48
6.2.1. Kontrola opreme za zavarivanje .....	49
6.2.1.1. Mjerenje parametara zavarivanja .....	49
6.2.1.2. Kontrola pravovaljanosti uređaja za zavarivanje .....	50
6.3. Kontrola tijekom zavarivanja .....	51
6.3.1. Posmaknutost u sučeljavanju stijenki.....	51
6.3.1.1. Norma EN 13445: 2009 Neložene tlačne posude- 4. Dio: Izrada.....	52
6.3.1.2. Norma EN 12952: 2001 Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije – 5. dio: Radionička izrada i konstrukcija dijelova kotla pod tlakom .....	55
6.4. Kontrola nakon zavarivanja.....	56
7. NERAZORNA ISPITIVANJA.....	57
7.1. Vizualna kontrola.....	57
7.2. Radiografska kontrola .....	58
7.3. Ultrazvučna kontrola.....	59
7.4. Penetrantska kontrola.....	60
7.5. Magnetska kontrola.....	61
8. USPOREDBA ZAHTJEVA ZA UDIO NERAZORNOG ISPITIVANJA PREMA NORMAMA EN 13445-5 I EN 12952-6 .....	62
8.1. Norma EN 13445-5:2009- Neložene tlačne posude– 5. dio: Pregled i ispitivanje.....	62

8.1.1. Smjernice za određivanje potrebne razine testiranja.....	62
8.2. Norma EN 12952: 2011- Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije– 6. dio: Pregledi tijekom izrade, dokumentiranje i označavanje tlačnih dijelova kotlova.....	70
9. TLAČNA PROBA .....	73
10. POSTUPAK OCJENJIVANJA SUKLADNOSTI .....	75
10.1. CE oznaka.....	79
11. EKSPERIMENTALNI RAD.....	81
11.1. Tehnički opis .....	82
11.2. Odobrenje tijela za ocjenu sukladnosti .....	86
11.3. Bitni sigurnosni zahtjevi .....	89
11.4. Analiza rizika.....	91
11.5. Plan kontrole kvalitete .....	94
11.6. Tehnologija zavarivanja Posude ED-241 .....	96
11.7. Antikorozivna zaštita .....	101
11.8. Tlačna proba .....	103
11.9. Upute za montažu .....	104
11.10. Mogućnosti unaprjeđenja sustava .....	106
12. ZAKLJUČAK.....	108
13. LITERATURA .....	110
14. PRILOZI.....	112

## POPIS SLIKA

Slika 1: Struktura područja opreme pod tlakom [2].....	4
Slika 2: Naprezanja na uzdužnom zavarenom spoju [6] .....	32
Slika 3: Naprezanja na obodnom zavarenom spoju [6].....	33
Slika 4: Kategorije zavarenih spojeva na posudu pod tlakom [10].....	34
Slika 5: Struktura pravilnika o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom [2] .....	44
Slika 6: Odstupanje od središnje osi [11]: .....	52
Slika 7: Mjerenje vanjskog izbočenja [11] .....	54
Slika 8: Mjerenje unutarnjeg izbočenja [11].....	54
Slika 9: Sudionici u procesu priznavanja, pregleda i ispitivanja opreme pod tlakom [2] .....	75
Slika 10: Prikaz postupka ocjene sukladnosti za tlačnu opremu [2] .....	76
Slika 11: CE oznaka [20].....	80
Slika 12: Tlačna posuda ED-241 [21] .....	84
Slika 13: Dijagram određivanja kategorije tlačne opreme [2] .....	87
Slika 14: Dijagram ispitivanja tlačnom probom [23].....	103

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Norme za odobravanje zavarivača i koordinatora zavarivanja.....	37
Tablica 2: Postupci kontrole kvalitete [16].....	47
Tablica 3: Odstupanje od središnje osi za uzdužne zavare kod cilindričnih, konusnih i prizmatičnih struktura [11] .....	53
Tablica 4: Odstupanje od središnje osi kod uzdužnih zavara na krajevima i sferičnim dijelovima susjednih dijelova [11] .....	53
Tablica 5: Odstupanje od središnje osi kod obodnih zavara susjednih dijelova [11] .....	53
Tablica 6: Maksimalno dozvoljeno odstupanje $P$ u uzdužnim zavarima za dinamička i ciklička opterećenja [11].....	54
Tablica 7: Maksimalno dozvoljeno Peaking $P$ u uzdužnim zavarima za statička opterećenja [13] .....	54
Tablica 8: Odstupanje od središnje linije za uzdužne zavare na cilindričnim dijelovima [12]	55
Tablica 9: Odstupanje od središnje linije za obodne zavare na cilindričnim dijelovima [12] ...	55
Tablica 10: Površinska odstupanja ravnosti površine za uzdužne zavare [12] .....	55
Tablica 11: Površinska odstupanja ravnosti površine za obodne zavare [12] .....	55
Tablica 12: Ispitne skupine čelika za tlačne posude [18] .....	64
Tablica 13: Udio nerazornog ispitivanja ovisno o položaju i vrsti zavara te o vrsti i debljini osnovnog materijala [18] .....	67
Tablica 14: Postotak nerazornih ispitivanja zavara na bubanju [19] .....	71
Tablica 15: Postotak nerazornih ispitivanja zavara na kapi [19] .....	71
Tablica 16: Postotak nerazornih ispitivanja cijevnih zavara [19] .....	72
Tablica 17: Moduli za ocjenu sukladnosti [1].....	77
Tablica 18: Moduli za ocjenu sukladnosti [1].....	78
Tablica 19: Projektni podaci [21].....	83
Tablica 20: Dimenzije tlačne posude i lista materijala [21] .....	85
Tablica 21: Usklađenost s predmetnom normom i tehničkom regulativom [21] .....	89
Tablica 22: Analiza rizika [21] .....	92
Tablica 23: Plan kontrole kvalitete [21] .....	94
Tablica 24: Način i opseg provedbe nerazornih ispitivanja [21] .....	100
Tablica 25: Podaci o izvedenoj antikorozivnoj zaštiti [21] .....	103



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$a$	mm	Debljina zavora
$Ce$	%	Ekvivalentni sadržaj ugljika
$d_i$	mm	Promjer stijenke posude
$d_l$	mm	Maksimalno odstupanje od središnje osi
$DN$	mm	Nazivni promjer posude
$e$	mm	Debljina stijenke posude
$e_l$	mm	Debljina tanjeg dijela stijenke posude
$h$	mm	Debljina stijenki posude
$I$	A	Struja zavarivanja
$p$	bar	Tlak
$P$	mm	Maksimalno odstupanje
$P1$	mm	Vanjsko odstupanje
$P2$	mm	Vanjsko odstupanje
$PS$	bar	Najveći dopušteni tlak
$r$	mm	Polumjer posude
$R_{e/t}$	N/mm <sup>2</sup>	Granica razvlačenja, označuje vrijednost na proračunskoj temperaturi
$R_e/R_m$	N/mm <sup>2</sup>	Plastična rezerva
$R_{m/20}$	N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća pri temperaturi od 20°C
$R_{m/t}$	N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća na proračunskoj temperaturi
$TS$	°C	Projektna temperatura
$Q_{pl}$	l/min	Protok plina
$U$	V	Napon
$V$	l	Volumen
$v_z$	cm/min	Brzina zavarivanja
$v_{\dot{z}}$	m/min	Brzina žice
$\sigma_1$	N/mm <sup>2</sup>	Obodno naprezanje
$\sigma_2$	N/mm <sup>2</sup>	Uzdužno naprezanje
$\sigma_3$	N/mm <sup>2</sup>	Radijalno naprezanje
CE	-	eng. European Conformity (Ocjena sukladnosti za tlačnu opremu)
EWE	-	eng. International Welding Engineer (Međunarodni inženjer zavarivanja)
EWS	-	eng. International Welding Specialist (Međunarodni specijalist zavarivanja)

---

EWT	-	<i>eng.</i> International Welding Technician (Međunarodni tehnolog zavarivanja)
IWE	-	<i>eng.</i> International Welding Engineer (Međunarodni inženjer zavarivanja)
IWS	-	<i>eng.</i> International Welding Specialist (Međunarodni specijalist zavarivanja)
IWT	-	<i>eng.</i> International Welding Technician (Međunarodni tehnolog zavarivanja)
MT	-	Ispitivanje magnetskim česticama
NDT	-	<i>eng.</i> Non Destructive Testing (Nerazorna ispitivanja)
PQR	-	<i>eng.</i> Procedure Qualification Record (Atestacija postupka zavarivanja)
PT	-	Ispitivanje penetrantima
RT	-	Radiografsko ispitivanje
S <sub>a</sub>	-	Standardni stupnjevi pripreme površine
UT	-	Ispitivanje ultrazvukom
VT	-	Vizualno ispitivanje
WPS	-	<i>eng.</i> Welding Procedure Specification (Specifikacija postupka zavarivanja)
WPAR	-	<i>eng.</i> Welding Procedure Approval Record ( Zapis o proceduri zavarivanja)

## SAŽETAK

Ovaj diplomski rad temelji se na analizi sustava osiguranja kvalitete pri zavarivanju opreme pod tlakom.

U teorijskom dijelu rada dana je analiza sustava osiguranja kvalitete tlačne opreme kroz sve korake u proizvodnji. Kako oprema pod tlakom predstavlja potencijalni izvor opasnosti određena su kritična mjesta u sustavu koja mogu utjecati na cjelovitost i kvalitetu proizvoda uzimajući u obzir naprezanja koja se javljaju, materijale koji se koriste te čimbenike na koje je potrebno obratiti pozornost tijekom konstrukcije i proizvodnje. Kako je zavarivanje najčešći način proizvodnje, prikazan je osvrt na osiguranje kvalitete koje je potrebno provoditi prije, tijekom i nakon zavarivanja, te je dana usporedba zahtjeva nerazornih ispitivanja, prema normi, za neložene tlačne posude te za vodocijevne kotlove.

U eksperimentalnom dijelu, zahvaljujući tvrtki Monter- Strojarske montaže d.d., provedena je analiza sustava osiguranja kvalitete na realnom proizvodu, tlačnoj posudi ED-241. Kako bi proizvođač ustanovio ispunjenje zahtjeva sukladno predmetnoj normi po kojoj je konstruirana tlačna posuda te zahtjevima tehničke regulative izrađena je analiza sigurnosti u kojoj su svi sigurnosni zahtjevi potkrijepljeni sukladnošću s Pravilnikom o tlačnoj opremi te proizvodnoj normi. Naposljetku, prikazane su upute vezane za provedbu postupka zavarivanja, antikorozivne zaštite i tlačne probe. Eksperimentalni rad sadrži niz podataka vezano uz tehničku dokumentaciju koja mora omogućiti dobivanje ocjene sukladnosti tlačne opreme s relevantnim zahtjevima radi puštanja u rad.

Ključne riječi: tlačna oprema, posude pod tlakom, kritična mjesta, zavarivanje, osiguranje kvalitete,

## **SUMMARY**

This graduate thesis is based on the analysis of the quality management systems in the welding of pressure equipment.

The theoretical part of this thesis gives an analysis of the quality assurance system of pressure equipment through all steps in production. As pressure equipment presents a potential source of danger, critical places in the system that can affect product integrity and quality are identified. This takes into consideration influence of the stresses that occur, the materials that are being used and all factors that need to be considered during construction and production. Since welding is the most common method of production, a quality control needs to be carried out before, during and after welding, and a comparison of nondestructive test requirements for unfired pressure vessels and water-tube boilers are presented.

In the experimental part, thanks to the company *Monter- Strojarske montaže d.d.*, the analysis of the quality assurance system on the real product, the pressure vessel ED-241, was carried out. In order for the manufacturer to establish the fulfillment of the requirements in accordance with the relevant standard on which the pressure vessel was designed and with the requirements of the pressure equipment directive, a safety analysis was carried out. Finally, the instructions for welding, anticorrosion protection and hydrostatic test are presented. The experimental work contains a number of data relating to the technical documentation which must enable the conformity assessment of the pressure equipment with relevant requirements for commissioning.

Key words: pressure equipment, pressure vessel, critical places, welding, quality management systems

## 1. UVOD

Prema Pravilniku o tlačnoj opremi tlačna oprema je proizvod koji se izrađuje i stavlja na tržište kao jedinica ili kao sklop ako ima oznaku sukladnosti, odgovarajući certifikat Tijela za ocjenu sukladnosti i Izjavu o sukladnosti proizvođača. Raznovrsnost tlačne opreme, odnosno raspon od tehnički jednostavne (npr. posuda za komprimirani zrak ili spremnik UNP-a) do tehnički najsloženije (npr. kotlovsko postrojenje ili cjelovito procesno postrojenje), otežava jednoznačno definiranje uvjeta pod kojima se taj proizvod ugrađuje u građevinu (za koju je izdata građevinska dozvola), a naročito kada se taj proizvod montira (sklapa) na gradilištu kao dio cjelovite građevine za koju je izdana građevinska dozvola. [1]

Tlačna oprema označava posude, cjevovode, sigurnosni pribor i tlačni pribor, uključujući, prema potrebi, elemente koji su pripojeni dijelovima pod tlakom kao što su prirubnice, spojnice, potpornji, nosive uške. Cjevovod čine cijevne komponente namijenjene za distribuciju fluida u naftnoj, kemijskoj te mnogim drugim industrijama spojene međusobno tako da čine tlačni sustav. Posuda je zatvoren prostor konstruiran i izrađen s namjenom da sadržava fluide pod tlakom drugačijim od okolišnoga, uključujući i priključke za povezivanje s drugom opremom. Tlačne posude koriste se pod vrlo visokim tlakom i promjenljivim temperaturama, a dimenzija korištene posude funkcija je količine i vrste fluida. [1]

Posuda pod tlakom je posuda koja zadovoljava sljedeće uvjete:

$$p > 0,5 \text{ bar} \quad (1.1)$$

$$p \cdot V \geq 0,3 \text{ bar} \cdot \text{m}^3 \quad (1.2)$$

Tlačne posude neizostavan su element u inženjerskom okruženju te se primjenjuju gotovo u svim granama industrije u različite svrhe u kao što su nuklearna, petrokemijska i kemijska industrija, te ostali industrijski sektori. Zbog prirode samoga fluida, tlačne posude su obično napravljene od materijala posebnih svojstva kao što je čvrstoća na vlak, krutost, žilavost (otpornost na lom), tvrdoća (otpornost na trošenje) i otpornost na umor.

S obzirom na to da oprema pod tlakom može biti niske i visoke razine opasnosti, vrlo je važno obratiti pozornost na ljudsko zdravlje, sigurnost ljudi, životinja, okoliša i imovine. Razlog tomu je što razlika između tlakova unutar posude i izvan nje predstavlja potencijalnu opasnost jer može doći do katastrofalnih posljedica zbog velike količine akumulirane energije što ju sadrži posuda.

Razvrstavanje opreme pod tlakom koja se prvi puta stavlja u upotrebu provodi se prema kategorijama opreme pod tlakom, grupi fluida i radnih karakteristika gdje su za različite tlakove propisane različite temperature te karakteristike visokih i niskih razina opasnosti. [1]

## **2. PRAVILNICI O OPREMI POD TLAKOM U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Kako bi se smanjili kvarovi i nezgode uslijed konstruiranju izrađeni su standardi i norme koje propisuju kako posudu pod tlakom treba proračunati i konstruirati, a da pri eksploataciji ne dođe do otkaza ili još gore do nezgoda opasnih po ljudski život.

Zbog svojih specifičnosti tlačna oprema oduvijek je bila dobro obrađena zakonskim propisima i stručnim preporukama. Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva izradilo je Zbirku naputaka iz područja opreme pod tlakom kako bi poduzetnici uskladili svoje poslovanje s nacionalnim zakonodavstvom i zakonodavstvom Europske unije u području opreme pod tlakom. Na slici 1 prikazana je struktura područja opreme pod tlakom.

Zbirka naputaka odnosi se na primjenu sljedećih propisa:

Pravilnik o jednostavnim tlačnim posudama, (N.N. 27/16)

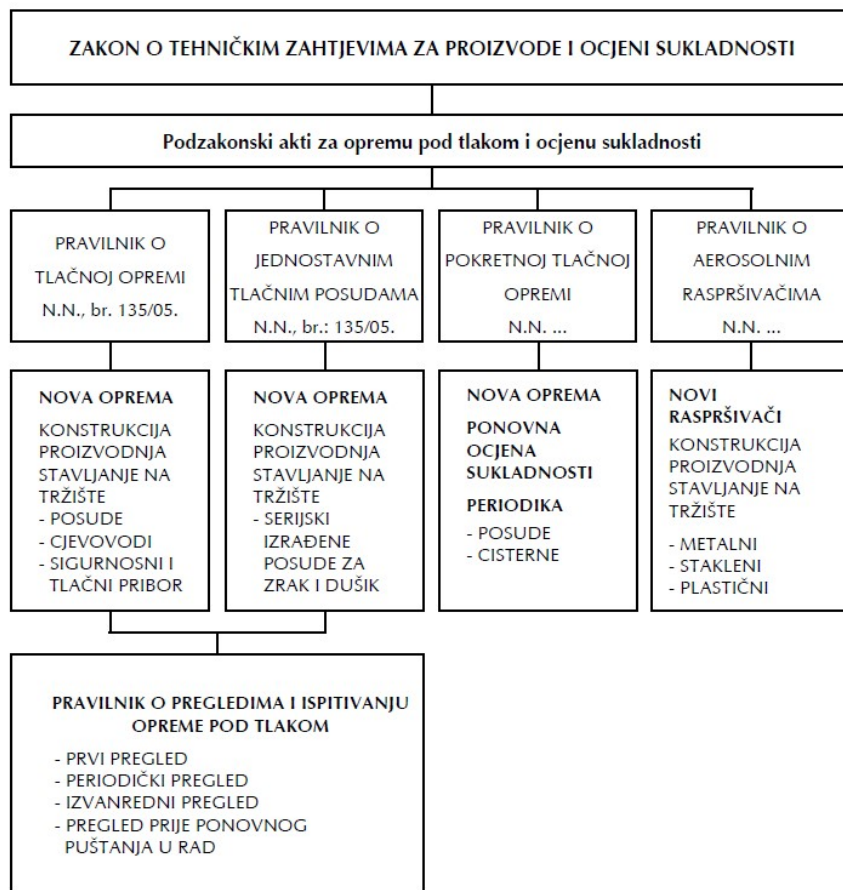
Pravilnik o tlačnoj opremi, (N.N. 79/16)

Pravilnik o pokretnoj tlačnoj opremi, (N.N.91/13)

Pravilnik o aerosolnim raspršivačima, (N.N. 45/14)

Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom (N.N. 27/17)

Pravilnik o postupku ocjene sukladnosti opreme pod tlakom na temelju isprava o sukladnosti izdanih u inozemstvu (N.N. 126/08)



Slika 1: Struktura područja opreme pod tlakom [2]

Pravilnik o tlačnim posudama ima pet Dodataka, a njegov sastavni dijelovi su:

- I -Bitni zahtjevi u kojima se nakon općih podataka daju podaci za konstrukciju, proizvodnju, materijali gradnje, posebni zahtjevi na loženu tlačnu opremu, zahtjevi za cjevovode te posebno specifični kvantitativni zahtjevi za određenu tlačnu opremu.
- II - Dijagrami za ocjenu sukladnosti
- III - Postupci za ocjenu sukladnosti
- IV -Minimalni kriteriji koje mora zadovoljiti tijelo za ocjenu sukladnosti i priznata neovisna organizacija
- V - Minimalni kriteriji koje mora zadovoljiti korisnički inspektorat



Tlačna se oprema konstruira, proizvodi i provjerava te po potrebi oprema i ugrađuje tako da se pri stavljanju u uporabu osigura njezina sigurnost u skladu s uputama proizvođača ili u predvidljivim radnim uvjetima. Sukladnost opreme sa zahtjevima Pravilnika potvrđuju tijela za ocjenu sukladnosti. [2]

### **3. ANALIZA SUSTAVA OSIGURANJA KVALITETE TLAČNE OPREME KROZ SVE KORAKE U PROIZVODNJI**

Prihvatanje sustava upravljanja kvalitetom treba biti strateška odluka organizacije. Na uspostavu i primjenu sustava upravljanja kvalitetom organizacije utječu razne potrebe, konkretni ciljevi, ponuđeni proizvodi, uspostavljeni procesi te veličina i ustrojstvo organizacije. Da bi organizacija radila učinkovito mora utvrditi brojne međusobno povezane radnje i njima upravljati. Model sustava upravljanja kvalitetom pokazuje da kupac ima važnu ulogu u utvrđivanju zahtjeva kao ulaznih podataka. Kada organizacija treba dokazati vlastitu sposobnost dosljedne realizacije proizvoda koji zadovoljavaju zahtjeve kupca i zahtjeve primjenjivih propisa treba se pridržavati međunarodnih normi. [3]

Dodatno na definirane zahtjeve norme HRN EN ISO 9001, a posebno u području djelatnosti koji se odnosi na naftnu, plinsku i petrokemijsku industriju potrebno je uskladiti poslovanje s normom HRS CEN ISO/TS 29001. Pored navedenih normi iz područja kvalitete poželjno je primijeniti i zahtjeve norme koje se odnose na okoliš HRN EN ISO 14001, te zahtjeve norme koja se odnosi na sigurnost i zaštitu zdravlja OHSAS 18001 te na taj način postići sinergiju svih aspekta poslovanja kroz jedinstveni integrirani sustav upravljanja.

Organizacija osim što može prilagoditi svoj postojeći sustav upravljanja radi uspostavljanja sustava upravljanja kvalitetom koji će biti sukladan zahtjevima međunarodnih normi, mora uspostaviti, dokumentirati, primijeniti i održavati sustav upravljanja kvalitetom i neprekidno poboljšavati njegovu učinkovitost u skladu sa zahtjevima međunarodnih normi. Uspješnost stalnog poboljšavanja prati se periodičkim ocjenama te stalnim praćenjem njegovih performansi. [3]

Svaki proces sastoji se od ulaza, radnih aktivnosti i izlaza, a navedeni procesi su međusobno povezani i slijede zahtjeve kupca odnosno zakonske zahtjeve, kroz realizaciju proizvoda do isporuke proizvoda tj. zadovoljavanja zahtjeva kupca. Svaki proces praćen je pripadnim postupkom koji definira slijed izvođenja aktivnosti, izvršitelje, aktivnosti i kontrolne aktivnosti, i u skladu je sa zahtjevima ostalih procesa koje ga slijedi ili ga

nastavljaju. U sljedećem dijelu teksta opisat će se svi procesi potrebni za proizvodnju kod kojih je potrebna primjena sustava osiguranja kvalitete.

### **Zaprimanja narudžbe**

Prilikom zaprimanja narudžbe od strane kupca provodi se utvrđivanje mogućnosti ispunjenja zahtjeva vezanih uz proizvod uključujući zahtjeve za isporuku i podršku nakon isporuke. Za potpuno razumijevanje kupčevih potreba i zahtjeva tijekom ponudbene faze, sastavljanja ugovora i svih faza koje slijede nakon toga potreban je razgovor s kupcem kako bi se postiglo potpuno razumijevanje i jasno ustanovljenje kupčevih zahtjeva, koji se odnose na kompletan opseg isporuke. Pri tome, nacrt plana kontrole kvalitete radi se paralelno kako bi se poduprla ocjena ugovora. [4]

### **Proces nabave [4]**

Postupkom nabave opisuju se sve radnje vezane za odvijanje procesa nabavljanja robe i usluga, kako na domaćem tako i na inozemnom tržištu, a koje imaju za cilj osigurati zahtjevano robove isporuke, te zahtjevanu kvalitetu proizvoda zaprimljenog od dobavljača u svrhu izvršenja ugovorenih poslova i kvalitete proizvoda. Tim dokumentom treba se osigurati da se proces nabave odvija na planirani i utvrđeni način.

Pokretanje nabave provodi se na osnovi projektne dokumentacije, tehnička priprema rada ili voditelj projekta/inženjer gradilišta izrađuje specifikaciju materijala s točnim količinama materijala, s planiranim rokom isporuke i zahtjevima za atestno-tehničku dokumentaciju.

Proces nabave sastoji se od prikupljanja ponuda dobavljačima s dostavljenom specifikacijom materijala. Upit mora u potpunosti definirati materijal/ opremu/ uslugu za koju se traži ponuda, odnosno sadržavati sve potrebne podatke koji omogućavaju jasno i nedvosmisleno prepoznavanje materijala uključujući i zahtjeve za dokaznom dokumentacijom o kvaliteti (atesti, uvjerenja).

Nakon dobivanja pristiglih ponuda voditelj nabave prvenstveno ih analizira sa stanovišta:

- Kvalitete ponuđenog proizvoda
- Roka isporuke
- Ponuđene cijene
- Načina plaćanja
- Dugoročnog interesa organizacije, te svih ostalih detalja i zahtjeva navedenih u ponudi dobavljača.

Prilikom odabira dobavljača, a vezano uz zavarivanje, potrebno je utvrditi je li dobavljač certificiran u skladu s normom HRN EN ISO 3834: Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala. Norma HRN EN ISO 3834 bavi se zahtjevima za kvalitetu u zavarivanju i pripremljena je kako bi se utvrdile kontrole i postupci. Ona nije zamjena za sustav upravljanja kvalitetom ISO 9001, ali je korisna nadopuna kada proizvođač primjenjuje ISO 9001 te se može koristiti neovisno o HRN EN ISO 9001.

### **Verifikacija nabavljenoga proizvoda**

Organizacija mora uspostaviti i primijeniti postupke inspekcije ili ostale nužne radnje kojima će osigurati da nabavljeni proizvod udovoljava specificiranim zahtjevima u narudžbi. Kada organizacija ili njezin kupac namjeravaju provesti verifikaciju na lokaciji dobavljača, organizacija mora u podacima za nabavu navesti planirane postupke verifikacije i metodu prihvatanja proizvoda. [4]

### **Projektiranje, proizvodnja i pružanje usluga [4]**

Odjeli osiguranja kvalitete i kontrole kvalitete na temelju ugovorenih obveza razrađuju odgovarajuće postupke i tehnologije zavarivanja i kontrole, te se brinu za kvalifikaciju postupaka zavarivanja i atestaciju zavarivača.

Osnovna pretpostavka za nesmetano odvijanje proizvodnih procesa pod kontroliranim uvjetima je postojanje odobrenih proizvodnih podloga, kao što su nacrti, liste materijala,

tehnoloških postupaka proizvodnje i kontrole (radni postupci, radne upute, tehnološke upute, specijalni postupci, atesti zavarivača, atesti opreme, specifikacije).

Korištenje odgovarajuće opreme bitno utječe na provođenje proizvodnih procesa pod kontroliranim uvjetima. Uređaji koji neposredno utječu na kvalitetu proizvoda podliježu posebnoj provjeri na temelju referentnih standarda. Sva dopuštena odstupanja, kao npr. parametara zavarivanja moraju biti unaprijed dokumentirana.

Prihvatljivosti procesa (zavarivanje, NDT, toplinska obrada) čiji rezultat ne može biti ovjeren naknadnim nadzorom/mjerenjem, mora biti utvrđen dokazujući time sposobnost tih procesa za ostvarivanje planiranih rezultata. To uključuje:

- Određivanje kriterija za ocjenjivanje i odobravanje procesa
- Odobravanje opreme i osposobljenosti osoblja
- Primjenu posebnih metoda i postupaka
- Zahtjeve za zapise
- Ponovno utvrđivanje prihvatljivosti

### **Označavanje i sljedivost**

Zahtjevi koji se odnose na identifikaciju materijala i proizvoda potrebno je primjenjivati u svim fazama izvođenja, skladištenja i isporuke u mjeri u kojoj je to zahtijevano sustavom upravljanja kvalitetom, tehničkom dokumentacijom ili u skladu sa zahtjevima kupca. Identifikacija se provodi prvenstveno u svrhu praćenja i dokazivanja kvalitete i to npr. da je ugrađen odgovarajući materijal, da su provedena ispitivanja i sl. ako npr. neka šarža ne zadovoljava propisanu kvalitetu, mora se kasnije izmijeniti, a pronaći se može jedino preko jedinstvene identifikacijske oznake. Oznake se prenose prije izrade kako ne bi došlo do nesljedivosti oznaka uslijed rezanja materijala. Isporučitelji su odgovorni za primjenu propisanog postupka označavanja materijala, poluproizvoda ili gotovih proizvoda. Označavanjem se omogućuje praćenje materijala i proizvoda u mjeri kojom je to utvrđeno ugovorom, normom ili nekim drugim tehničkim procesom. [4]

### **Zahtjevi za dokumentaciju [3, 4]**

Radne upute su detaljno razrađeni pisani dokumenti koji na osnovu postupaka propisuju kako se izvode tj. neposredno izvršavaju, kontroliraju i nadziru različite aktivnosti navedene u tim postupcima, te utvrđuju odgovornost za njihovu ispravnu primjenu i provedbu.

Provedba radnih uputa temelji se na postupnim i jasnim uputama te objašnjenjima o tome tko i što treba činiti, kada, gdje i kako će se raditi, koji će se materijali, oprema i dokumenti koristiti i kako će se kontrolirati, nadzirati i izvješćivati. Gdje god je potrebno, navode se: metoda rada, sredstva rada, mjere predostrožnosti, opći uvjeti za izvođenje aktivnosti, slijed operacija i vremenski razmak, kriterij prihvatljivosti i kvalifikacija osoblja.

Zapisi su posebna vrsta dokumenta koji dokazuju sukladnost sa zahtjevima i učinkovitost sustava, te se moraju nadzirati. Zapisi se označavaju na način koji omogućuje identifikaciju s predmetom, uslugom i procesom na koji se odnose, kao i identitet osobe koja ga izrađuje i osobe koja ga odobrava.

Dokumentacija sustava upravljanja kvalitetom mora sadržavati :

- a) dokumentiranu izjavu o politici kvalitete i ciljevima kvalitete
- b) priručnik za kvalitetu
- c) dokumentirane postupke koje zahtijeva međunarodna norma
- d) dokumente koji su potrebni organizaciji kako bi osigurala učinkovito planiranje, provođenje i upravljanje vlastitim procesima i
- e) zapise koje zahtijeva ova međunarodna norma

### **Izrada plana kontrole kvalitete [4]**

Plan kontrole kvalitete svakog proizvoda, objekta ili građevine izrađuje se prije početka izrade proizvoda na temelju zahtjeva iz ugovora i drugih dokumenta prema kojima se vrši izvođenje, te važećih propisa za tu vrstu proizvoda.

Plan kontrole kvalitete sadrži popis aktivnosti/operacija/ predmeta kontrole koje se kontroliraju, vrstu, opseg i način kontrole te standard i ispitne podloge, vršilac, mjesto i vrijeme kontrole i/ili ispitivanja, potvrda kontrole i/ili ispitivanja, te aktivnosti i ovjera nadzora i investitora.

### **Projektiranje [4]**

Postupak projektiranja započinje dobivanjem naloga za pripremu i početak izvođenja radova. Nakon dobivenog naloga vrši se proračun čvrstoće, izrada nacrtu tlačne posude, specifikacija potrebnog materijala za izradu te priprema potpune dokumentacije za tlačnu posudu.

Projektant je dužan za svaku tlačnu posudu osim proračuna čvrstoće i nacrtu izdati:

- tehnički opis
- bitne sigurnosne zahtjeve
- analizu rizika
- upute za montažu, korištenje i održavanje

U pojedinim fazama projektiranja vrši se kontrola i analiza te se prema potrebi, ako se utvrde poteškoće predlaže konstrukcijsko rješenje u dogovoru s kupcem.

**Izrada [4]**

Na temelju naloga za izvođenje radova tehnička priprema analizira projektnu dokumentaciju i izrađuje radni nalog koji sadrži:

- projekt
- nacrt
- radioničke skice
- specifikacije materijala i opreme
- zahtjev za tehnologiju zavarivanja
- zahtjev za kontrolu kvalitete
- plan izrade proizvoda (po potrebi)
- plan kontrole (po potrebi)
- tehnologije s priložima (po potrebi)

Postupak izrade sastoji se od sljedećih faza:

- ulazna kontrola materijala
- unos materijala u radionicu
- rezanje i krojenje materijala, prenošenje šarži te izrada pozicija
- sklapanje i pripajanje
- međufazna kontrola zavarivanja i naknadna toplinska obrada (po potrebi)
- kontrola bez razaranja, eventualni popravci
- ravnjanje, čišćenje šljake, brušenje rubova
- označavanje elementa
- probna montaža, ukoliko je ugovorena
- čišćenje i ličenje proizvoda
- završna kontrola uz prisustvo naručitelja i/ili nadzora(ako je to zahtijevano ugovorom) i preuzimanje
- utovar u prijevozno sredstvo



Izrada proizvoda prati kompletiranje atestno-tehničke dokumentacije. Ona se prilikom preuzimanja predaje predstavniku naručitelja i u pravilu sadrži:

- certifikat o sposobnosti za izvođenje radova
- certifikat ISO 9001
- dnevnik izrade
- certifikate osnovnog materijala
- certifikate dodatnog materijala
- certifikate zavarivača
- specifikacije postupka zavarivanja (WPS)
- certifikate postupka zavarivanja (PQR)
- dnevnik zavarivanja
- izvještaj o kontroli/ RT,UT,VT ili dimenzionalnoj
- zapisnik o radioničkom preuzimanju

#### **Ulazna kontrola [4]**

Prije preuzimanja materijala, proizvoda, opreme i sl. prije ugradnje ili skladištenja potrebno je obaviti ulaznu kontrolu radi otkrivanja i utvrđivanja nesukladnosti. Nesukladnost je neispunjenje bilo kojeg postavljenog zahtjeva, obuhvaća odstupanje ili odsutnost jednog ili više svojstava kvalitete. Način kontrole definiran je u zavisnosti od zahtjeva narudžbe ili ugovora, značaja predmeta isporuke, podobnosti dobavljača, ranijim iskustvima i sl.

#### **Međufazna kontrola [4]**

Radovi se izvode sukladno dostavljenoj tehničkoj dokumentaciji i zahtjevima koji su njome definirani. Aktivnost radova kontroliraju se prema odobrenom planu kontrole kvalitete koji definira koje aktivnosti se kontroliraju, tko ih kontrolira, kako ih kontrolira, kada ih kontrolira i potrebu ovjere i/ili prisustvovanje nadzornog inženjera kupca.

Svaki radnik koji je odgovoran za izvršenje pojedine faze radova, odgovoran je da tijekom izvođenja radova i po završetku faze provede prikladnu kontrolu i ispitivanje u skladu prema raspoloživim tehničkim mogućnostima. Ova kontrola minimalno uključuje provođenje vizualne kontrole izvršenih radova i njihove sukladnosti sa zahtjevima tehničke dokumentacije.

Voditelj izgradnje odgovoran je provjeriti provedenost svih potrebnih međufaznih kontrola i sukladnost rezultata sa zahtjevima tehničke dokumentacije. U slučaju da voditelj izgradnje procijeni da opseg provedene međufazne kontrole nije zadovoljavajući, ili da su rezultati na granici dozvoljenih, može postaviti dodatne zahtjeve za provođenje novih ispitivanja ili za njihovim ponavljanjem.

#### **Završna kontrola [4]**

Nakon završetka svih radova predviđenih tehničkom dokumentacijom tj. ugovorom, te svih međufaznih kontrola i njihovom odjavom u dnevnik, voditelj izgradnje prijavljuje objekt za završnu kontrolu.

Završna kontrola se provodi u skladu sa zahtjevima tehničke dokumentacije te sukladno zakonskim propisima. Završni kontrolor pri tome popunjava ispitne protokole, ateste ili druge dokumente koji su predviđeni postavljenim zahtjevima za provođenje završne kontrole.

U slučajevima kada je to predviđeno ugovorom ili zakonskim propisima stalni nadzor nad izvođenjem radova sukladno svojim odgovornostima i ovlastima može provoditi nadzorni organ kupca.

#### **Praćenje i mjerenje [4]**

Sve procese određene sustavom upravljanja kvalitete potrebno je nadzirati i mjeriti. Utvrđivanje parametra procesa te metode nadzora i mjerenja temelje se na prikazu sposobnosti procesa da postigne planirane rezultate.

Pregledi i ispitivanja primjenjuju se u planiranju kvalitete, ulaznoj kontroli, međufaznoj i u završnoj kontroli za sve isporuke materijala, opreme ili usluge dobivenih od dobavljača, kao i na kompletan opseg isporuke kupcu, a u skladu s ugovorom. Planovi kontrole baziraju se na zakonima, propisima, normama, ugovorenim specifikacijama i internim zahtjevima za kvalitetu te je osigurano da osobe koje provode završnu kontrolu nisu one osobe koje su provodile ili nadzirale proizvodnju/ montažu.

### **Upravljanje nesukladnim proizvodima [4]**

Nesukladni proizvod potrebno je označiti i nadzirati kako bi se spriječila nenamjerna upotreba ili isporuka. Svi sudionici u proizvodnom procesu odgovorni su prijaviti nesukladnost, te surađivati u traženju optimalnog rješenja za otklanjanje istih.

## 4. KRITIČNA MJESTA U SUSTAVU

Kritična mjesta u sustavu koja mogu utjecati na kvalitetu proizvoda ovise o vrsti korištenog materijala za izradu, postupcima i tehnologiji izrade, unosu topline, eksploatacijskim uvjetima, ljudskim resursima, opremi za proizvodnju te vrsti i načinu provedbe ispitivanja. U daljnjem tekstu bit će objašnjeni svi ključni faktori i njihov značaj na konačnu kvalitetu proizvoda.

### 4.1. Naprezanja i deformacije pri eksploataciji

Tlačne posude najčešće imaju cilindrični, eliptični ili sferni oblik. Sferni oblik zbog najmanje raspodjele veličina naprezanja po stijenci posude i najvećeg omjera volume posude u odnosu na površinu najrašireniji je i najpogodniji oblik tlačnih posuda. Samim time osigurana je ekonomičnost izrade jer je za izradu potrebno manje materijala. Glavna zadaća tlačnih posuda je da drže radni fluid pod zadanim tlakom i temperaturom. Samim time podvrgnuti su djelovanjem statičkog i dinamičkog opterećenja te toplinskih naprezanja što zahtjeva cjelovito znanje o nastalim naprezanjima kako bi se omogućio dugi životni vijek posude.

U posudi kompliciranog oblika koja je podvrgnuta unutarnjem tlaku, jednostavni koncept membranskog naprezanja ne prikazuje stvarno stanje naprezanja. Vrsta poklopca za zatvaranje, poprečni provrti, urezi, učinci nosača, različite debljine poprečnog presjeka, prijelazi presjeka, vanjski priključci i sve ukupno savijanje zbog težine i vanjskih vremenskih utjecaja uzrokuju različite raspodjele naprezanja u posudi. Odstupanja od stvarnog oblika membrane stvaraju savijanje stijenke posude u uzrokuju direktno opterećenje od točke do točke. Izravno opterećenje preusmjerava se s fleksibilnog na krute dijelove posude. [5]

Pojedine sekcije tlačne opreme različite su debljine, promjera i vrste materijala te u slučaju slobodnog širenje posude zbog prevelike temperature ili unutarnjeg tlaka doći će do različite deformacije u pojedinim dijelovima. Kako su ti svi dijelovi međusobno povezani nastala naprezanja djeluju na sve dijelove međusobno. Takva naprezanja nazivaju se

naprezanja uslijed nejednakosti, i nastaju zbog deformacija u lokalnom području. Odgovarajuće prijelaze između pojedinih dijelova treba oblikovati tako da skretanje silnica, zamišljenih linija, po kojima se prenosi sila bude što blaže.

Prilikom konstruiranja tlačne opreme od iznimne je važnosti uzeti u obzir takvu vrstu naprezanja, pogotovo ako se radi o opremi koja je dinamički opterećena te prilagoditi konstrukciju kako bi naprezanja bila minimalna jer iako djeluju na malom području mogu biti velikog iznosa. [5]

Naprezanja nastala uslijed greška proizvodnje, skrućivanja zavara i toplinske obrade metala iako se svrstavaju kao sekundarna naprezanja, jer nisu posljedica unutarnjeg tlaka, mogu biti od izričitog značaja kako kod krhkih tako i kod žilavih materijala uslijed dinamičkog naprezanja. [6]

Analiza naprezanja je određivanje odnosa sila koja se javljaju unutar posude i odgovarajućih naprezanja koja se javljaju unutar materijala. U ovome diplomskom radu neće se prikazivati proračun naprezanja pojedinih dijelova posude, već će se prikazati analiza posude pod tlakom i njezinih komponenti u nastojanju da se postigne ekonomična i sigurna izrada, tj. prikazat će se vrste naprezanja koja se javljaju i koje su posljedice.

Djelovanje vanjskih i unutarnjih sila i momenata na konstrukciju predstavlja opterećenje toga tijela koja rezultiraju nastankom naprezanja. Sile i momenti moraju biti međusobno izolirani kako bi se odredilo područje na koje djeluju i koje su posljedice. Lokalna naprezanja se zbrajaju i određuju ukupno naprezanje u posudi ili pojedinim komponentama. Naprezanja od lokalnog opterećenja dodaju se napreznjima od glavnog opterećenja, te se tada ta kombinirana vrijednost naprezanja uspoređuje s dozvoljenom razinom naprezanja.

Vrste naprezanja, kategorije naprezanja i dopuštena naprezanja temelje se na vrsti opterećenja koja ih proizvode i potencijalne opasnosti koju predstavljaju za konstrukciju. U čeliku se u određenom trenutku javljaju samo pojedina naprezanja. Konstruktor mora biti svjestan veličina opterećenja i kako ona u konačnici djeluje na cijelu posudu, da li su učinci dugoročni ili kratkoročni, te da li djeluju na cijelu posudu ili samo na pojedine dijelove.

Zadaća konstruktora je da kombinira naprezanja od različitih opterećenja kako bi dobio najnepogodniju kombinaciju naprezanja koristeći pri tome znanje o funkcionalnosti opreme i opterećenjima koja se javljaju. Zatim prema normama ISO EN 13445 ili ASME standardu odrediti metodu proračuna i dobivene rezultate usporediti s dopuštenim naprezanjima kako bi se dobila ekonomična i sigurna konstrukcija. [5]

Polazna točka za određivanje analize naprezanja je odrediti sve konstrukcijske uvjete za zadani problem, a zatim sve vanjske sile povezane s njime. Vanjske sile se zatim povezuju s pojedinim dijelovima posude s kojima su u doticaju i koji im se moraju oduprijeti, kako bi se pronašli odgovarajući iznosi naprezanja. Izdvajanjem opterećenja na pojedine uzorke, iznosi naprezanja mogu biti točnije određeni. [5]

Način na koji su ta naprezanja interpretirana i kombinirana, koji značaj imaju na ukupnu sigurnost posude pod tlakom i koja su dopuštena naprezanja određeno je s tri stvari:

- primijenjena teorija čvrstoće/otkaza
- vrste i kategorije opterećenja
- opasnosti koje predstavljaju naprezanja u posudu

U svakoj tlačnoj posudi pod utjecajem vanjskog ili unutarnjeg tlaka javljaju se naprezanja u stijenci posude. Stanje naprezanja je u troosno a glavna naprezanja su.

- $\sigma_1$  – obodno naprezanje
- $\sigma_2$  – uzdužno naprezanje
- $\sigma_3$  – radijalno naprezanje

Također mogu se javiti posmična i savojna naprezanja. Kada je debljina stijenke mala u usporedbi s drugim dimenzijama ( $> 10$  mm), posude se tada ponašaju kao membrane i naprezanja koja rezultiraju iz stlačenog spremnika nazivaju se membranska naprezanja. [5]

Radijalno naprezanje djeluje okomito na stijenku i stvara tlačno naprezanje u stijenci koje je jednako tlaku koji djeluje na posudu. U tankostjenim posudama ta vrsta naprezanja je tako mala da se i zanemaruje te se tada razmatra dvoosno stanje naprezanja. Za obodno i membransko naprezanje, zbog male debljine stijenke posude, smatra se da su jednoliko

raspodijeljena po debljini stijenke. To svakako pojednostavljuje proračun, a dobiveni rezultati tek neznatno odstupaju od pravih vrijednosti. Dakako kod debelostjenih posuda to nije slučaj.

Što se tiče teorija čvrstoće, norme i standardi se uglavnom baziraju na teoriji najvećeg normalnog naprezanja, teorije najvećeg posmičnog naprezanja i teorije najveće gustoće distorzijske energije deformacija kod kojih opasnost od loma nastaje kada pojedino naprezanje tj. deformacije dostigne kritičnu vrijednost.

Kako se materijali razlikuju po svojim mehaničkim svojstvima tako se za određene materijale koriste za njih zadane teorije čvrstoće. Teorija najvećeg normalnog naprezanja precizna je pri određivanju čvrstoće krutih materijala, ali je neadekvatna za žilave materijale koji će prije puknuti pod posmičnim naprezanjima, nego pri vlačnom tj. tlačnom opterećenju. [5]

#### **4.1.1. Statičko opterećenje**

Tlačne posude podvrgnute su dugotrajnom konstantnom opterećenju (naprezanjima). Ukoliko takvo dugotrajno opterećenje djeluje u uvjetima povišene temperature moguća je pojava puzanja materijala. Puzanje materijala je spora deformacija materijala nastala uslijed djelovanja dugotrajnog konstantnog opterećenja pri povišenoj temperaturi. Puzanje materijala je toplinski aktivirani proces te će biti izraženiji pri višim temperaturama naročito pri temperaturama nešto višim od temperature rekristalizacije. [7]

Prema Pravilniku o tlačnoj opremi dopušteno glavno membransko naprezanje za pretežno statičko opterećenje i kod temperatura kod kojih ne dolazi do značajnog puzanja materijala ne smije premašiti najmanju od sljedećih vrijednosti za upotrijebljeni materijal [1]:

- u slučaju feritnih čelika, uključujući normalizirani (normalizirani valjani) čelik, a isključujući sitno zrnate čelike i posebno toplinski obrađene čelike,  $2/3$  od  $R_{e/t}$  i  $5/12$  od  $R_{m/20}$ ;
- u slučaju austenitnih čelika:
  - ako njegova istezljivost prelazi 30%,  $2/3$  od  $R_{e/t}$
  - ako njegova istezljivost prelazi 35%,  $5/6$  od  $R_{e/t}$  i  $1/3$  od  $R_{m/t}$  ;

- u slučaju nelegiranog ili nisko legiranog čeličnog lijeva, 10/19 od  $R_{e/t}$  i 1/3 od  $R_{m/20}$ ;
- u slučaju aluminija, 2/3 od  $R_{e/t}$ ;
- u slučaju aluminijских legura, isključujući precipitacijski očvršćene legure 2/3 od  $R_{e/t}$  i 5/12 od  $R_{m/20}$ .

Simboli:

$R_{e/t}$ , granica razvlačenja, označuje vrijednost na proračunskoj temperaturi od:

- gornju granicu razvlačenja za materijale koji imaju gornju i donju granicu razvlačenja;
- 1,0% konvencionalne granice razvlačenja za austenitne čelike i nelegirani aluminij;
- 0,2% konvencionalne granice razvlačenja u drugim slučajevima.

$R_{m/20}$  označuje najmanju vrijednost vlačne čvrstoće pri temperaturi od 20 °C.

$R_{m/t}$  označuje vlačnu čvrstoću na proračunskoj temperaturi. [1]

#### 4.1.2. Dinamičko opterećenje

Mehanizam nastajanja zamornog loma kod promjenjivih, odnosno cikličkih ili periodičkih opterećenja, temelji se na razvitku inicijalnih zamornih pukotina postupnim razaranjem materijala. Otpornost na umor je sposobnost materijala da se odupire lokalnoj koncentraciji naprezanja, a da ne dođe do propagacije pukotine.

Analiza dinamičke izdržljivosti pokazuje da se povećanjem broja ciklusa naprezanja pukotina može pojaviti pri manjem nametnutom naprezanju tj. tlaku bez obzira na to što je naprezanje manje od (statičke) granice razvlačenja (u odnosu na statičko naprezanje uz odabrani faktor sigurnosti). Lom nastupa tijekom vremena bez vidljivog vanjskog znaka, najprije nastajanjem inicijalne pukotine, a zatim i njezinim napredovanjem (propagacijom). Stoga je potrebno kontrolirati sustav i strukturu materijala, korektno ih konstrukcijski oblikovati te obratiti pozornost na nepovoljne utjecaje zavarivanja, toplinske obrade i sl. Kod toga se uvijek trajanja konstrukcije podudara s vremenom širenja pukotine. [6]

Začetak trajnog loma nalazi se na mjestu gdje je iz nekog razloga došlo do koncentracije naprezanja te pojavom nepravilnosti u mikrostrukturi materijala.



Koncentratori naprezanja mogu biti:

- konstrukcijskog porijekla
- tehnološkog porijekla
- nastali u eksploataciji kao posljedica udarnog oštećenja i istrošenja i sl.
- nesavršeno strukturno stanje u materijalu

Uslijed djelovanja koncentrata naprezanja na tom mjestu lokalno naprezanje prelazi vrijednost  $R_m$  nastaje inicijalna pukotina koja se uslijed dugotrajnog djelovanja dinamičkog opterećenja širi - nastaje tzv. trajni lom. Kada je nosiva površina toliko smanjena da naprezanje u još nerazorenom dijelu prelazi vrijednost  $R_m$  nastaje trenutni lom.

Da bi se spriječila pojava umora materijala, na području ispitivanja mehaničkih svojstava razvijena su mnoga ispitivanja kojima se materijal opterećuje dinamički (promjenljivim naprezanjem) i tako imitiraju eksploatacijski uvjeti. Ispitivanja se provode na mjestima gdje će doći do najvećih naprezanja kako bi ti rezultati bili mjerodavni za cijelu konstrukciju. Takva se ispitivanja provode na umaralicama ili pulzatorima, koji za razliku od klasičnih kidalica omogućuju promjenljivo ili dinamičko opterećivanje epruveta ili strojnih elemenata. [7]

## 4.2. Materijali za izradu tlačnih posuda

Materijali koji se koriste za proizvodnju tlačne opreme moraju imati odgovarajuća svojstva za sve radne uvjete u predviđenom vijeku trajanja ukoliko nisu predviđene zamjene i odgovarajuća svojstva za sve radne uvjete koji se mogu predvidjeti i za sve uvjete ispitivanja, a posebno moraju biti dovoljno čvrsti i žilavi.

Izuzetna pažnja potrebna je pri odabiru materijala kako bi se spriječio krhki lom. U materijalu se istovremeno može javiti krhki i žilavi lom. Krhki lom se odvija bez značajnog plastičnog tečenja materijala i nastaje kada normalno naprezanje na kliznim kristalnim ravninama prijeđe kritičnu vrijednost. Žilavi lom nastaje prilikom pojave velike plastične deformacije klizanjem po kristalografskim ravninama prije loma. Odnos otpornosti materijala na ove dvije vrste loma nije konstantan za pojedini materijal, već ovisi o temperaturi i dinamičkim uvjetima kojima je materijal podvrgnut. Elastična deformacija se smanjuje smanjenjem temperature i raste povećanje dinamičkog naprezanja. [6]

Mehanizam nastajanja zamornog loma kod promjenjivih, odnosno cikličkih ili periodičkih opterećenja, temelji se na razvitku inicijalnih pukotina. Kod toga se vijek trajanja posude podudara s vremenom širenja pukotine.

Pogreške u konstrukciji, posebice pukotine prilikom zavarivanja mogu biti uzrok loma. One se tijekom vremena mijenjaju, a njihov razvoj ovisi o statičkom ili vremenski promjenjivom opterećenju, te utjecaju sredine kao što je korozija i slično.

Pokazatelj žilavosti materijala je vrijednost udarnog rada loma, tj on je pokazatelj "žilavosti" ili "krhkosti" materijala. Što je udarni rad loma veći to je i materijal žilaviji. Materijali visoke čvrstoće imaju mali udarni rad loma.

Žilavost materijala je sposobnost materijala da apsorbira energiju za vrijeme plastične deformacije. Čelici visoke čvrstoće najčešće su korišteni čelici za proizvodnju tlačne opreme zbog svoje žilavosti. To je bitno kod dinamičkog opterećenja i koncentraciji naprezanja na pojedinim dijelovima konstrukcije. Legirni elementi kao silicij, bakar i magnezij povećavaju

otpornost na udarni rad loma, a kao najvažnije legirni elementi pri niskim temperaturama su aluminij i nikal. [6]

Čelici povišene čvrstoće imaju, u odnosu na ostale čelike, višu granicu razvlačenja i višu vlačnu čvrstoću, a time i više dopuštenog naprezanja pri radu. Primjenom ovih čelika smanjuje se debljina poprečnog presjeka stijenki posude kod jednakih opterećenja, odnosno smanjuje se masa i volumen konstrukcije, što dovodi do sniženja ukupnih troškova materijala. Kod pokretne tlačne opreme znači i manji utrošak pogonske energije i smanjenje gubitaka zbog inercijskih sila kod pokretanja i zaustavljanja. U razvoju čelika povišene čvrstoće želio se zadržati povoljan omjer  $R_e/R_m$  (0,70..0,85) tzv. "plastična rezerva", tako da u slučaju preopterećenja prije dolazi do plastične deformacije, a ne do iznenadnog loma. Zadržavanjem što nižeg %C i eventualno niskim udjelom legirnih elemenata zavarljivost ostaje zadovoljavajuća.

Čelike povišene ili visoke čvrstoće treba primjenjivati uzimajući u obzir sljedeće činjenice:

- ovisno o okolini u kojem se nalazi posuda i vrsti tvari koja se nalazi u njoj, može doći do pojave korozije koja dodatno smanjuje debljinu stijenke i o tome se mora voditi računa pri dimenzioniranju presjeka
- kod ovih čelika dinamička izdržljivost i otpornost na naglo širenje pukotina nisu proporcionalno povećana s granicom razvlačenja. Čelici su osjetljivi na zarezno djelovanje pa je potreban oprez kod primjene u uvjetima promjenjivog dinamičkog opterećenja.
- povišenjem granice razvlačenja opada deformabilnost, a raste i osjetljivost prema pojavi krhkog loma.

Čelici povišene čvrstoće su u pravilu sitnozrnati mikrolegirani. Krupnije zrno mikrostrukture daje manju otpornost pri visokocikličkom umoru pri temperaturi ispod 200 °C. Sitnozrnati čelici imaju nižu prijelaznu temperaturu u odnosu na grubozrnate te nisu osjetljivi na krhki lom. Dobra zavarljivost osigurana je i niskim masenim udjelom ugljika ( $<0,2$  %C i  $C_e < 0,4$ ). Unos topline pri zavarivanju treba tako regulirati da se u zoni utjecaja topline (ZUT-u) ostvari intenzivnost hlađenja kao i kod normalizacije. [8]

Pri višim temperaturama materijali pokazuju visoki udarni rad loma odnosno u tom području su žilavi dok u niskim temperaturama ti isti materijali imaju niski udarni rad loma tj. postaju krhki. Temperatura koja odvaja područje žilavosti od područja krhkosti se naziva prijelaznom temperaturom. Povoljnije je da prijelazna temperatura bude što niža posebice za materijale koji će u eksploataciji raditi u takvim temperaturnim uvjetima. [7]

Upotreba krhkih materijala pri izradi tlačne opreme je opasna, kao i upotreba žilavih materijala podvrgnutih temperaturama ispod prijelazne temperature. Od vrlo bitnog značaja je poznavanje prijelazne temperature materijala tlačne posude i poznavati eksploatacijske temperature stijenki posude kako materijal ne bi prešao u krhko stanje. Također u obzir treba i uzeti hidrostatska ispitivanja koja se mogu odvijati u hladnije vrijeme, što je u mnogim slučajevima bilo zanemareno i dovelo do krhkog loma materijala. [6]

#### ***4.2.1. Svojstva materijala koja pri odabiru materijala treba uzeti u obzir***

Materijali za dijelove pod tlakom moraju imati:

**(a)** odgovarajuća svojstva za sve radne uvjete koji se mogu predvidjeti i za sve uvjete ispitivanja. To su:

- konvencionalnu granicu razvlačenja na proračunskoj temperaturi 0,2% ili 1,0% trajne deformacije (prema potrebi)
- vlačnu čvrstoću
- statičku izdržljivost, tj. otpornost puzanju
- umor materijala
- Youngov modul (modul elastičnosti)
- odgovarajući iznos plastične deformacije
- energiju loma savijanjem
- lomnu žilavost
- odgovarajuće faktore zavarenog spoja koji se primjenjuju na svojstva materijala i koji ovise npr. o vrsti ispitivanja bez razaranja, zavarenih materijala i predviđenih uvjeta rada.

Posebno moraju biti dovoljno plastični i žilavi. Osobito treba voditi računa o odabiru materijala kako bi se spriječio krti lom. Ako je iz određenih razloga nužno koristiti krti materijal, poduzimaju se odgovarajuće mjere

- (b) dovoljna kemijska otpornost na fluide koji se nalaze u tlačnoj opremi
- (c) kemijska i fizikalna svojstva nužna za siguran rad koja nisu značajno umanjena u predviđenom vijeku trajanja opreme
- (d) nisu značajno podložni starenju
- (e) primjereni u predviđenim postupcima obrade
- (f) materijali se odabrati tako da se izbjegnu značajni negativni učinci pri spajanju različitih materijala. [1]

Prilikom odabira materijala za tlačnu opremu proizvođač tlačne opreme na odgovarajući način prema normama ili standardima određuje vrijednosti potrebne za proračune konstrukcije te osnovna svojstva materijala i načine obrade. U tehničkoj dokumentaciji potrebno je navesti elemente koji se odnose na sukladnost sa specifikacijama za materijale iz Pravilnika o tlačnim posudama u jednom od sljedećih oblika:

- korištenjem materijala koji su u skladu s usklađenim normama
- korištenjem materijala koji su obuhvaćeni europskim odobrenjem za materijale tlačne opreme
- korištenjem posebno odobrenih materijala

#### **4.2.2. Kontrola i osiguranje kvalitete**

Proizvođač tlačne opreme poduzima odgovarajuće mjere kako bi osigurao da upotrijebljeni materijali budu u skladu sa specifikacijama. Posebno, dokumentacija koju priprema proizvođač materijala, a koja potvrđuje sukladnost sa specifikacijama, prikuplja se za sve materijale. Za glavne dijelove opreme koji su pod tlakom kategorije II., III. i IV., ta je dokumentacija u obliku certifikata o kontroli tog materijala. Za tlačnu opremu u kategoriji III.

i IV. ocjenjivanje posebno odobrenih materijala vrši angažirano prijavljeno tijelo za ocjenjivanje sukladnosti predmetne tlačne opreme. Ako proizvođač materijala ima odgovarajući sustav osiguranja kvalitete koji je potvrđen od strane kompetentnog tijela koje je uspostavljeno unutar Unije i koje je posebno odobreno za ocjenjivanje materijala, pretpostavlja se da certifikat koji izdaje proizvođač potvrđuje sukladnost odgovarajućim zahtjevima ove točke. [1]

### 4.3. Konstrukcija tlačnih posuda

Tlačna oprema projektira se u smislu ostvarenja njezine funkcije i zadovoljavanja bitnih zahtjeva za građevinu (prema Zakonu o prostornom uređenju i gradnji) od strane ovlaštenog inženjera projektanta Glavnog strojarskog projekta i ovlaštenog inženjera projektanta Izvedbenog strojarskog projekta, a tlačna oprema se konstruira od strane proizvođača izradom Tehničke dokumentacije za odobrenje konstrukcije (prema Pravilniku o tlačnoj opremi). Nadležno Tijelo za ocjenu sukladnosti provjerava Tehničku dokumentaciju za odobrenje konstrukcije.[9]

Pri konstruiranju treba uzeti u obzir sve odgovarajuće faktore kako bi se osigurala sigurnost tlačne opreme za vrijeme njezina vijeka trajanja. Konstruiranje se temelji na odgovarajućim koeficijentima sigurnosti i metodama za koje je poznato da imaju odgovarajuće sigurnosne granice za sve načine otkazivanja opreme.

Konstrukcija mora biti čvrsta i pouzdana, uz što manju debljinu stijenke kako bi se postigla ekonomičnost izrade posude i predstavljala konkurentnost na tržištu. Smanjenjem mase posude dolazi do povećanja naprezanja u materijalu. Maksimalno naprezanje određeno je na temelju proračuna i kroz eksperimentalna istraživanja materijala u zadanom okruženju.

Konstrukcija tlačnih posuda sastoji se od tri ključna čimbenika:

- dobra inženjerska praksa
- vrsta materijala i njegova svojstva, kao što su čvrstoća, žilavost i otpornost na umor materijala
- sustav osiguranja kvalitete koji potvrđuje da su točka 1 i 2 zadovoljene

Kako je proizvodnja orijentirana na smanjenje troškova primjenjuju se nove metode konstruiranja posuda, nove zavarivačke tehnike spajanja, novi materijali s povećanom čvrstoćom i otpornošću na koroziju te napredne numeričke teorije poput metode konačnih elemenata koje omogućuju preciznije izračunavanje naprezanja, uz naravno smanjenje vremena proizvodnje. [6]

Pouzdanost tlačne opreme ovisi o predviđanju i informacijama koje naručitelj daje konstruktorima i proizvođaču. Ako je u tijeku rada posuda podvrgnuta koroziji, tj. korozivnom okolišu ili korozivnom radnom fluidu u uputstvima za izradu mora biti navedeno o kojem korozijskom produktu je riječ te ako je moguće stupanj djelovanja korozije temeljen na prijašnjem iskustvu. Dakako podaci o koroziji dostupni su za većinu materijala, ali stvarni uvjeti ponekad teško mogu biti simulirani u laboratoriju te se stoga moraju odraditi konstantnim provjerama u eksploataciji.

Naručitelj je najbolje upoznat s uvjetima rada te s uzrocima kvara i oštećenja tlačne opreme. Ako je proizvođač upoznat s tim problemima podvrgnuti će se realizaciji znatno boljih konstrukcijskih rješenja koristeći što prihvatljiviji materijal. [10]

#### **4.3.1. Konstrukcija temeljena na proračunu**

Tlačna se oprema konstruira za opterećenja koja odgovaraju njezinoj namjeni te za druge predvidljive uvjete rada. Posebno se uzimaju u obzir sljedeći faktori:

- unutarnji/vanjski tlak
- temperatura okoline i radna temperatura
- statički tlak i masa sadržaja u ispitnim uvjetima i uvjetima rada
- opterećenja vezana za promet, vjetar, potres
- sile reakcija i momenti koji proizlaze od oslonaca, priključaka, cijevi itd
- korozija i erozija, umor materijala
- razdvajanje nestabilnih fluida

Uzimaju se u obzir razna opterećenja koja se javljaju istodobno, uvažavajući mogućnost njihova istovremenog nastupanja.

Pri proračunavanju pojedinih dijelova postoje različiti čimbenici koje nije jednostavno uzeti u obzir. Iz tog razloga stvarne konstrukcije zamjenjuju se pojednostavljenim mehaničkim modelima koji se zatim opisuju pojednostavljenim matematičkim modelima. Numerički izračun konačnih vrijednosti uključuje nužne pogreške računanja. Pri tome treba uzeti i u obzir nesigurnost u poznavanju stvarnih svojstva materijala i uvjeta u kojima se



koriste. Stoga, nužno je pristupiti dimenzioniranju ili dokazivanju ponašanja naprezanja sa stanovitom rezervom koja je sadržana u faktoru sigurnosti  $S$ .

Dopuštena naprezanja tlačne opreme ograničena su s obzirom na očekivane razumne načine otkazivanja u uvjetima rada. Stoga se primjenjuju odgovarajući faktori sigurnosti kako bi se u potpunosti uklonila svaka nesigurnost koja proizlazi iz proizvodnje, stvarnih uvjeta rada, naprezanja, metode proračuna te svojstava i ponašanja materijala.

Opravljanost uzimanja faktora sigurnosti rezultat je nedovoljnog inženjerskog znanja. Pri konstruiranju pojedinih komada jednostavnih tlačnih posuda ekonomičnije je uzeti veću debljinu stijenke tj. kompenzirati skupa inženjerska znanja povećanjem troškova materijala.

Pri proračunavanju tlačne opreme primjenjuje se jedna od sljedećih metoda ili, ako je neophodno, koristi kao dodatak jednoj ili u kombinaciji s drugom metodom:

- konstrukcija formulama
- konstrukcija analizom
- konstrukcija mehanikom loma

Prema Pravilniku o tlačnoj opremi prilikom konstruiranja koriste se odgovarajući proračuni kako bi se utvrdila izdržljivost određene tlačne opreme. Pritom se u obzir uzimaju sljedeći uvjeti [1]:

- Proračunski tlakovi nisu manji od najvećih dopuštenih tlakova te u obzir uzimaju statički i dinamički tlak fluida te razdvajanje nestabilnih fluida. Ako je posuda podijeljena na zasebne komore koje su pod tlakom, pregradna stijenka konstruirana je na temelju najvećeg mogućeg tlaka komore u odnosu na najmanji mogući tlak u susjednoj komori.
- Proračunske temperature uzimaju u obzir u odgovarajuće sigurnosne granice.
- Konstrukcija vodi računa o svim mogućim kombinacijama temperature i tlaka do kojih može doći u razumno predvidljivim uvjetima rada tlačne opreme.
- Najveća naprezanja i koncentracije naprezanja u dopuštenim su granicama.
- Pri proračunu otpornosti na tlak koriste se vrijednosti koje odgovaraju svojstvima materijala, temeljene na dokumentiranim podacima, uzimajući u obzir odredbe utvrđene u točki 4. zajedno s odgovarajućim faktorima sigurnosti.

- Konstrukcija uzima u obzir sve predvidljive mehanizme postupnog slabljenja materijala (npr. zbog korozije, puzanja, umora) u skladu s namjenom tlačne opreme. U uputama iz točke 3.4. pozornost se skreće na posebne karakteristike konstrukcije koje su povezane s vijekom trajanja opreme, npr.:
  - za puzanje: planirane sate rada na određenim temperaturama;
  - za umor: planirani broj ciklusa na određenim razinama naprezanja;
  - za koroziju: planirane dodatke na koroziju.

Ako proračunata debljina stijenke ne uključuje odgovarajuću stabilnost strukture, poduzimaju se nužne mjere kako bi se to ispravilo, uzimajući u obzir rizike pri prijevozu i rukovanju.

#### **4.3.2. Konstrukcija temeljena na eksperimentu**

Eksperimentalna metoda konstruiranja bez izračuna primjenjuje se ako je umnožak najvećeg dopuštenog tlaka PS i volumena V manji od  $6000 \text{ bar} \times L$  ili ako je umnožak  $PS \times DN$  manji od 3000 bar. Konstrukcija opreme može se djelomično ili u cijelosti potvrditi odgovarajućim programom ispitivanja koji se provodi na reprezentativnom uzorku opreme ili kategorije opreme. ako je umnožak najvećeg dopuštenog tlaka PS i volumena V manji od  $6000 \text{ bar} \times L$  ili ako je umnožak  $PS \times DN$  manji od 3000 bar. [1]

Program ispitivanja mora biti jasno definiran prije ispitivanja i prihvaćen od prijavljenog tijela za ocjenjivanje sukladnosti za odgovarajući modul ocjenjivanja sukladnosti konstrukcije, ako on postoji. Ovim se programom definiraju uvjeti ispitivanja i kriteriji prihvatanja ili neprihvatanja konstrukcije. Stvarne vrijednosti glavnih dimenzija i svojstva materijala od kojih je ispitivana oprema izrađena provjeravaju se prije ispitivanja. [1]

Prema potrebi, za vrijeme ispitivanja omogućuje se promatranje kritičnih mjesta tlačne opreme odgovarajućim instrumentima koji mogu dovoljno precizno zabilježiti naprezanja i deformacije.

Ispitni program uključuje sljedeće:

- izdržljivost na tlak čija je svrha provjera da pri tlaku u određenim sigurnosnim granicama koje su u vezi s najvećim dopuštenim tlakom kod opreme ne dođe do značajnijih propuštanja ili deformacija koje prelaze dopuštene vrijednosti. Ispitni tlak utvrđuje se na temelju razlika između vrijednosti geometrijskih značajki i svojstava materijala izmjerenih u uvjetima ispitivanja te vrijednosti koje se koriste za konstrukciju; u obzir se uzimaju razlike između ispitnih i proračunskih temperatura.
- kada postoji rizik od puzanja ili umora materijala, odgovarajuća ispitivanja određena na temelju uvjeta predviđenih za tlačnu opremu, npr. vrijeme rada na određenim temperaturama, broj ciklusa na određenim razinama opterećenja.
- prema potrebi, dodatna ispitivanja koja se tiču drugih faktora kao što su korozija, vanjska oštećenja i sl. [1]

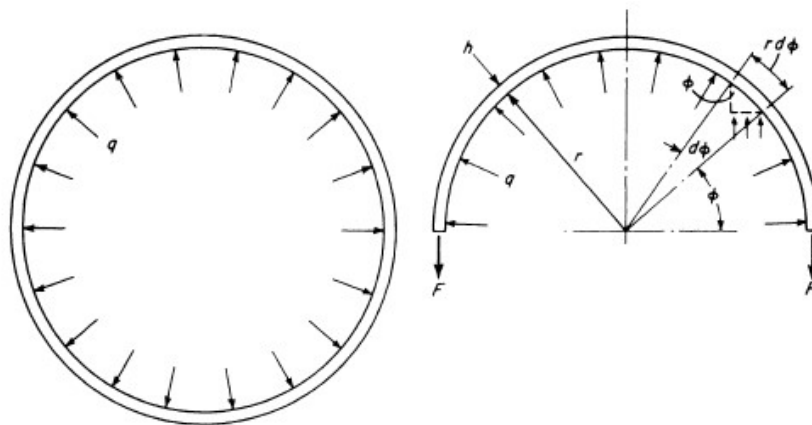
### 4.3. Proizvodnja tlačnih posuda

Tlačne posude izrađuju se od metalnih limova koji su spojeni nerastavljivim postupcima, najčešće zavarivanjem. Nerastavljivi spojevi i područja oko njih ne smiju imati nikakva oštećenja na površini ili unutrašnjosti koja bi štetila sigurnosti opreme. Svojstva nerastavljivih spojeva moraju odgovarati minimalnim svojstvima utvrđenima za materijale koji se spajaju.

#### 4.3.1. Zavarivanje tlačnih posuda

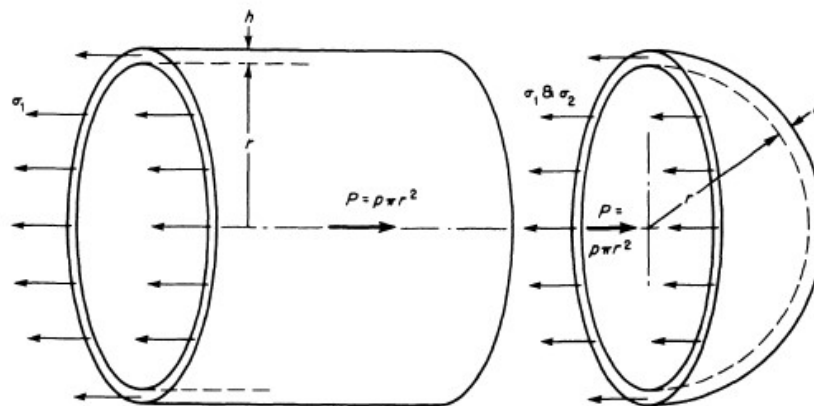
Tehnologija zavarivanja najčešće je prisutna prilikom izrade posuda pod tlakom. Najčešći položaji zavarenih spojeva na tlačnoj posudi su obodni (slika 2) i uzdužni (slika 3) zavareni spojevi.

Obodni zavareni spojevi koji su prisutni kod tlačnih posuda dvostruko su manje napregnuti u eksploataciji u odnosu na uzdužne zavarene spojeve. To je prikazano formulama 4.3.1. i 4.3.2.. Iz tog razloga debljina stijenke kod kružnih zavora može biti dvostruko manja. Ta činjenica vrlo je bitna prilikom projektiranja tlačnih posuda ne samo zbog odabira debljine stijenke posude već i odabira opsega nerazornih ispitivanja na cijeloj posudi čime se smanjuju nepotrebni troškovi kontrole. [6]



Slika 2: Naprezanja na uzdužnom zavarenom spoju [6]

$$\sigma_2 = \frac{pr}{h} \quad (4.3.1.)$$



Slika 3: Naprezanja na obodnom zavarenom spoju [6]

$$\sigma_1 = \frac{pr}{2h} \quad (4.3.2.)$$

Gdje je prema formulama 4.3.1. i 4.3.2.:

p- tlak

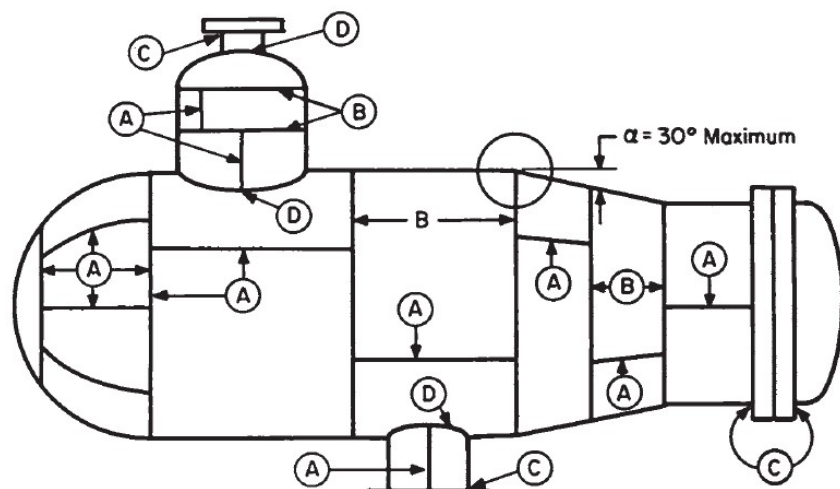
r- polumjer posude

h- debljina posude

$\sigma_1$ - obodno naprezanje

$\sigma_2$ - uzdužno naprezanje

Kategorija zavarenog spoja definira položaj zavora na tlačnoj posudi te se ne odnosi na vrstu zavarenog spoja. Njome je definiran stupanj potencijalne opasnosti koji određeni zavareni spoj predstavlja te su s kategorijom A propisani zavareni spojevi s najvećim rizikom opasnosti, a kategorijom D zavareni spojevi s najmanjim rizikom opasnosti. Na slici 4 prikazane su kategorije zavarenih spojeva na primjeru zavarene posude pod tlakom.



Slika 4: Kategorije zavarenih spojeva na posudu pod tlakom [10]

Kategorije zavarenih spojeva [10]:

A – Uzdužni zavareni spojevi, obodni zavareni spojevi koji povezuju plašt i kapu, svi zavareni spojevi na kapi

B – Obodni zavareni spojevi, zavareni obodni spojevi pod kutom ne većim od 30°

C – Zavareni spojevi prirubnica i plašta, zavareni spojevi ravnih kapa s plaštom

D - Zavareni spojevi priključaka i plašta

Zavarivanje se izvodi u skladu sa zahtjevima konstrukcije i tehnološkim postupkom koji odobrava ovlašteni inženjer za zavarivanje (IWE/EWE). Za provedbu postupka zavarivanja odgovoran je specijalista zavarivanja (EWT i EWS). Pojedini postupci odobreni su od strane tijela za ocjenu sukladnosti, ili drugih inspekcija ovisno o vrsti proizvoda i zahtjevima kupca. Na temelju zahtjeva konstrukcije i nadležne inspekcije tehnolog iz tehničke pripreme rada razrađuje, a inženjer zavarivanje izdaje procedure zavarivanja – WPS liste (*eng.* Welding Procedure Specification) ili tehnologiju zavarivanja u kojima točno opisuje postupak zavarivanja s definiranim parametrima. Time se dokazuje da su određenim postupkom zavarivanja i dodatnim materijalom zadovoljene tražene karakteristike zavarenog spoja na temelju mehaničkih i metalurških karakteristika zavara. Prije izrade i odobravanja procedure zavarivanja potrebno je atestirati postupak zavarivanja, te izraditi zapis o proceduri zavarivanja WPAR/PQR (*eng.-* Welding Procedure Approval Record / Procedure Qualification Record). Atestiranje postupaka zavarivanja vrši se prema važećim normama i propisima. [4]

U WPS-u potrebno je obavezno dodati temperature predgrijavanja, i gdje je potrebno temperature međupredgrijavanja potrebne za zavarivanje. Temperature predgrijavanja određuje se na temelju mikrostrukture i debljine metala te vrsti i parametrima postupka zavarivanja, te je pokriveno normom HRN EN 1011: Zavarivanje- Preporuke za zavarivanje metalnih materijala.

Kontrola kvalitete procesa zavarivanja vrši se u svim fazama izrade u skladu s planom kontrole koji se izrađuje za svaki proizvod prije početka radova. U tijeku procesa i kontrole zavarivanja vrše se potrebna označavanja kako bi se osigurala sljedivost materijala i u svakom trenutku moglo prepoznati stanje pregleda i ispitivanja.

Prije početka zavarivanja potrebno je obaviti pripremu spoja. Pri rezanju materijala termičkim postupkom (plazma, plinsko rezanje) potrebno je poduzeti određene opreza kako ne bi došlo do povećanja tvrdoće na rezanim rubovima. Iz tog razloga, kod nekih materijala obaviti će se predgrijavanje prije rezanja. Rubovi feritnog čelika koji se odrezani termičkim postupkom, moraju biti uklonjeni naknadnim mehaničkim postupkom ako to zahtjeva WPS. [11]

Površina koja će se zavarivati mora biti u potpunosti čista te ju je potrebno potpuno očistiti od hrđe, oksida, masnoća, boja i sličnih supstancija te ne smije sadržavati prskotine, pukotine i slične nedostatke koji bi imali štetan utjecaj na kvalitetu zavarivanja. Tijekom zavarivanja zavarivač mora imati dostupan WPS ili detaljne upute za rad na temelju odobrenog WPS-a i definirane sve bitne varijable koje su pod njegovom direktnom kontrolom. [11]

Prema normi ISO EN 12952-5 kada se bubanj za kotao ne može proizvesti od jednog komada ploče, mora se izraditi s minimalnim brojem uzdužnih zavora, pri tome zavarivanje glavnih uzdužnih zavora treba provesti prije zavarivanja obodnih zavora. Uzdužni zavori moraju biti pravilno raspoređeni, osim ako konstrukcija bubnja to nedozvoljava (npr. nejednolika debljina profila). [12]

Montažni zavarari različitih materijala nisu dozvoljeni bez prethodnog odobrenja investitora. Zavarivanje različitih vrsta materijala, kao npr. austenit i ferit, treba izbjegavati. Svaki zavar između različitih metala, npr. svaki zavar (izuzev preklapanja zavara) između feritnog čelika i austenitnog čelika ili legure na bazi nikla, treba biti ograničen kako slijedi:

- Montažni zavarari različitih materijala nisu dozvoljeni bez prethodnog odobrenja investitora.
- Kada se zavaruju dva različita feritna čelika ili feritni i martenzitni čelik, elektroda/žica treba biti s niskim sadržajem vodika i mora odgovarati kemijskom sastavu oba materijala. U slučaju kada se spajaju element koji je predviđen za rad pod tlakom i element koji nije predviđen za rad pod tlakom, kemijski sastav elektrode/žice mora odgovarati sastavu materijala elementa koji je predviđen za rad pod tlakom.

#### **4.3.2. Ljudski resursi**

Za osiguranje kvalitete zavarivačkih radova tvrtka mora imenovati odgovornu osobu za zavarivanje. Ovisno o opsegu posla stručne osobe za zavarivanje su:

- Inženjer specijalista za zavarivanje- EWE, IWE (eng. International / European Welding Engineer)
- Tehnolog za zavarivanje- EWT, IWT (eng. International / European Welding Technologist)
- Specijalist za zavarivanje- EWS, IWS (eng. International / European Welding Specialist)

Njihova zadaće je:

- pregled i ocjena ugovorne dokumentacije
- Odabir i propisivanje postupka zavarivanja, parametra zavarivanja i dodatnog materijala
- Odabir i propisivanje pripreme spojeva za zavarivanje
- Nadzor nad izvođenjem zavarivanja
- Briga o kvalifikaciji i atestaciji zavarivača



Sve operacije zavarivanja mora izvoditi kvalificirano i atestirano osoblje koje posjeduje odgovarajuće certifikate u skladu sa zahtjevima standarda prema kojemu se izvodi proces zavarivanja i ovlaštenih inspekcijskih ustanova. Odobravanje zavarivača i koordinatora zavarivanja provodi se u skladu s normama navedenim u tablici 1. Obuka, nadzor i kontrola zavarivača i koordinatora zavarivanja zadaće su poslodavca koji je dužan napraviti i provoditi jednoznačni i jedinstveni sustav označavanja zavarivača. Potrebno je voditi popis zavarivača i koordinatora zavarivanja, zajedno s njihovim atestom o sposobnosti izvođenja radova, koji se nalazi se u tvrtki. Dokumentacija o testiranju zavarivača i operatora zavarivanja treba biti raspoloživa cijelo vrijeme izvođenja radova na gradilištu nadzornom inženjeru investitora. Učestalost grešaka svakog zavarivača treba biti dostupna nadzornom inženjeru na njegov zahtjev. Nadzorni inženjer ima pravo tražiti reatestaciju svakog zavarivača u bilo koje vrijeme. [4]

Tablica 1: Norme za odobravanje zavarivača i koordinatora zavarivanja

ISO 9606-1	Provjera osposobljenosti zavarivača - Zavarivanje taljenjem - 1. dio: Čelici
ISO 9606-2	Provjera osposobljenosti zavarivača - Zavarivanje taljenjem - 2. dio: Aluminij i aluminijske legure
ISO 9606-3	Provjera osposobljenosti zavarivača - Zavarivanje taljenjem - 3. dio: Bakar i bakrene legure
ISO 9606-4	Provjera osposobljenosti zavarivača - Zavarivanje taljenjem - 4. dio: Nikal i niklene legure
ISO 9606-5	Provjera osposobljenosti zavarivača - Zavarivanje taljenjem - 5. dio: Titan i titanove legure, cirkonij i cirkonijeve legure
ISO 9712	Nerazorna ispitivanja - kvalifikacija i certifikacija osoblja
ISO 14731	Koordinacija zavarivanja - Zadaci i odgovornosti
ISO 14732	Zavarivačko osoblje - Provjera osposobljenosti rukovatelja zavarivanja i podešavatelja uređaja za mehanizirano i automatizirano zavarivanje metalnih materijala
ISO 15618-1	Provjera osposobljenosti zavarivača za podvodno zavarivanje - 1. dio: Ronioci-zavarivači za podvodno mokro zavarivanje
ISO 15618-2	Provjera osposobljenosti zavarivača za podvodno zavarivanje - 2. dio: Ronioci-zavarivači i operateri za podvodno suho zavarivanje

Pojam certifikacija podrazumijeva potvrđivanje koje provodi treća strana tj. neovisna organizacija koja na temelju provedenog ocjenjivanja sukladnosti, utvrđuje zadovoljava li proizvod, proces, sustav upravljanja ili osoba kriterije sadržane u određenom normativnom dokumentu. Pri tome, normativni dokument je međunarodna ili nacionalna norma, specifikacija, zakonski akt (pravilnik ili sl.) ili vlastito razvijena certifikacijska shema nekog certifikacijskog tijela. U slučaju ispunjenja postavljenih kriterija definiranih spomenutim normativnim dokumentom, certifikacijsko tijelo izdaje certifikat.

#### 4.4. Korozija tlačnih posuda

Korozija je spontano razaranje materijala pod djelovanjem okolnog medija-plina, kapljevine ili krutih agresivnih čestica, a uslijed kemijskih ili elektrokemijskih procesa. Korozije tlačne opreme može se podijeliti na unutrašnje i vanjske korozije. Dok su uvjeti okoliša oko tlačne posude uzročnici vanjske korozije do unutrašnje korozije uglavnom dovodi protok fluida i sama geometrija posude.

Napetosna korozija uzrokuje propadanje metala koje nastaje kao posljedica statičkog vlačnog naprezanja u korozijski agresivnoj sredini. U slučaju dinamičkih opterećenja, dolazi do loma metala zbog korozijskog umora. Napetosna korozija je složena pojava koja djeluje na gotovo sve metale u nekim sredinama, a najčešće napreduje interkristalno. Ovaj tip korozije nastupit će najčešće na hladno deformiranim lokalitetima, jer tamo zaostaju naprezanja, ili u okolini zavarenih mjesta gdje su veća zaostala naprezanja. Opseg korozije ovisit će o tlaku, temperaturi i koncentraciji fluida u odnosu na stupanj naprezanja materijala posude. Napetosna korozija se gotovo uvijek javlja kod legura, a čisti metali iako nisu potpuno imuni, rijetko pucaju uslijed napetosne korozije. Dakako čisti metali imaju puno manja mehanička svojstva te se kao takvi ne primjenjuju pri izradi tlačnih posuda. Posebice su opasne otopine koje sadrže halogene kloride alkalskih i zemnoalkalskih metala, uz povišenu temperaturu i tlak te sulfidna napetosna korozija koja se javlja kada je metal u dodiru sa sumporovodikom ( $H_2S$ ). Kada dođe do pojave takve vrste korozije pukotina se može razviti vrlo brzo i propagirati duž stijenku posude. Zbog slabljenja konstrukcije dolazi do deformiranja posude i oslobađanja radnog fluida, što je vrlo opasno za okolinu. [13]

Korozija u procjepu nastaje stvaranjem elektrolitičkog korozijskog članka na preklopu dvaju limova s dovoljnom velikom zračnosti da u nju uđe elektrolit. Ovoj oblik korozije je intenzivniji u kloridnim otopinama (morska voda). Korozijska okolina ima snažan utjecaj na umor materijala te se umor može javiti ranije i na nižim veličinama naprezanja.

Korozija može uzrokovati pitting, nejednoliku debljinu stijenke, pukotine, praznine što smanjuje pouzdanost tlačne opreme. Prema potrebi, osigurava se odgovarajući dodatak ili zaštita protiv korozije ili drugih štetnih kemijskih utjecaja, uzimajući u obzir namjeravanu i predvidljivu upotrebu tlačne opreme.

#### 4.4.1. Načini drenaže i odzračivanja

Korozija se najčešće javlja na vlažnim površinama te je radi toga vrlo važno omogućiti drenažu posude. Kad je potrebno, osiguravaju se odgovarajući priključci za drenažu i odzračivanje tlačne opreme:

- da bi se izbjegli štetni učinci kao što je hidraulički udar ili implozija, korozija i nekontrolirane kemijske reakcije. Uzimaju se u obzir svi uvjeti rada i ispitivanja, a posebno ispitivanje na tlak;
- kako bi se omogućilo čišćenje, inspekcija i održavanje u sigurnim uvjetima

Tlačna oprema konstruira se i izrađuje tako da se mogu provesti sva potrebna sigurnosna ispitivanja. Kada je potrebno osigurati stalnu sigurnost opreme, postoje sredstva za određivanje unutarnjeg stanja opreme poput revizijskih otvora koji omogućuju fizički pristup unutrašnjosti tlačne opreme tako da se odgovarajuća ispitivanja mogu provesti na siguran i ergonomičan način. [1]

Pristupačnost unutrašnjosti posude je neophodna zbog podloženosti unutarnje stijenke koroziji ili mehaničkog abraziji. Redovito obavljanje unutarnje inspekcije važno je za sigurnost i produljeni vijek posude. Gotovo sve tlačne posude podložene su nekoj vrsti unutarnje korozije, a ozbiljnost korozije može se utvrditi samo pregledom unutrašnjosti.

Na manjim posudama ponekad je teško napraviti dodatne otvore. Posude promjera od 30 cm ili manje ne moraju imati otvore, ali izostavljanje otvora pokazalo se kao loša praksa. Točno unutarnje stanje posude mora se moći odrediti u svakome trenutku. [10]

U slučajevima kod kojih može doći do jake erozije ili abrazije poduzimaju se odgovarajuće mjere kako bi se taj učinak smanjio odgovarajućom konstrukcijom, npr. dodatnom debljinom materijala ili uporabom prevlaka ili platiranjem te omogućila zamjena dijelova koji su najviše oštećeni.

Kako bi se utvrdilo stanje opreme pod tlakom u radu potrebno je obavljati redovite vanjske i unutarnje preglede. Vanjskim pregledom utvrđuje se stanje vanjskih površina,

sigurnosna i druga oprema, te stanje radne okoline i mjesto postavljanja opreme pod tlakom. Vanjski je pregled u pravilu vizualan pregled. Ukoliko vizualnim pregledom nije moguće utvrditi stanje opreme pod tlakom i dati sigurnosno tehničku ocjenu ili se utvrde oštećenja i nedostaci na opremi mogu se, kada je to potrebno, provesti i drugi pregledi i ispitivanja.

Prilikom unutarnjeg pregleda OPT-AGENCIJA provjerava stanje površina izvrgnutih tlaku s obzirom na moguće pojave korozije, pukotina, udubljenja, ispupčenja, slojevitosti, te utjecaj radne materije na unutarnje površine. Unutarnji pregled se u pravilu obavlja kao i vanjski, te se po potrebi proširuje odgovarajućim ispitivanjima drugim priznatim metodama.

Ukoliko se stanje opreme pod tlakom ne može utvrditi radi nedostupnosti pojedinih dijelova ili drugih razloga, potrebno je odstraniti dijelove opreme koji onemogućuju unutarnji pregled. Komponente opreme pod tlakom koje nije moguće pregledati iznutra podvrgavaju se vanjskom pregledu površina i, prema potrebi, mjerenju debljine stijenka, ispitivanju tlakom i drugim ispitivanjima bez razaranja. Ukoliko postoji opravdana sumnja o postojanju oštećenja koja nije moguće otkriti standardnim postupcima potrebno je provesti dodatne preglede i ispitivanja. [14]

## 5. SIGURNOST I SIGURNOSNI ZAHTJEVI OPREME POD TLAKOM

Stabilna se oprema pod tlakom dijeli prema razini opasnosti [14]:

- **Visoka razina opasnosti** – periodičke preglede obavlja OPT-Agencija. Nakon prvog pregleda OPT Agencija otvara evidenciju za predmetnu opremu pod tlakom i očevidnik u koji se upisuje svaki pregled.
- **Niska razina opasnosti** – periodičke preglede obavlja stručno tijelo koje može biti fizička odnosno pravna osoba osposobljena za periodičke preglede stabilne opreme pod tlakom. Vlasnik mora voditi evidenciju o pregledima i ispitivanjima koje obavlja u vremenskim razmacima koje je propisao proizvođač.

Oprema pod tlakom visoke razine opasnosti:

- posude za plinove i tekućine s grupom fluida 1 i sadržaja energije gdje je umnožak tlaka i volumena veći od 300 bar·L
- posude za plinove i tekućine (jednostavne tlačne posude) s grupom fluida 2 sadržaja energije gdje je umnožak tlaka i volumena veći od 1000 bar·L
- posude za tekućine s grupom fluida 1 i sadržaja energije gdje je umnožak tlaka i volumena veći od 200 bar·L
- ložena tlačna oprema (kotlovi) sadržaja energije gdje je umnožak tlaka i volumena veći od 200 bar·L

Oprema pod tlakom niske razine opasnosti:

- sva oprema čiji su parametri (sadržaj energije) niži od navedenih za opremu pod tlakom visoke razine opasnosti

Grupe fluida:

- **Grupa 1** – opasni fluidi. Opasan fluid predstavlja tvar ili smjesu definiranu Pravilnikom o razvrstavanju, označavanju, obilježavanju i pakiranju opasnih kemikalija. Grupa 1 obuhvaća fluide definirane kao:

- eksplozivne,
- izrazito zapaljive,

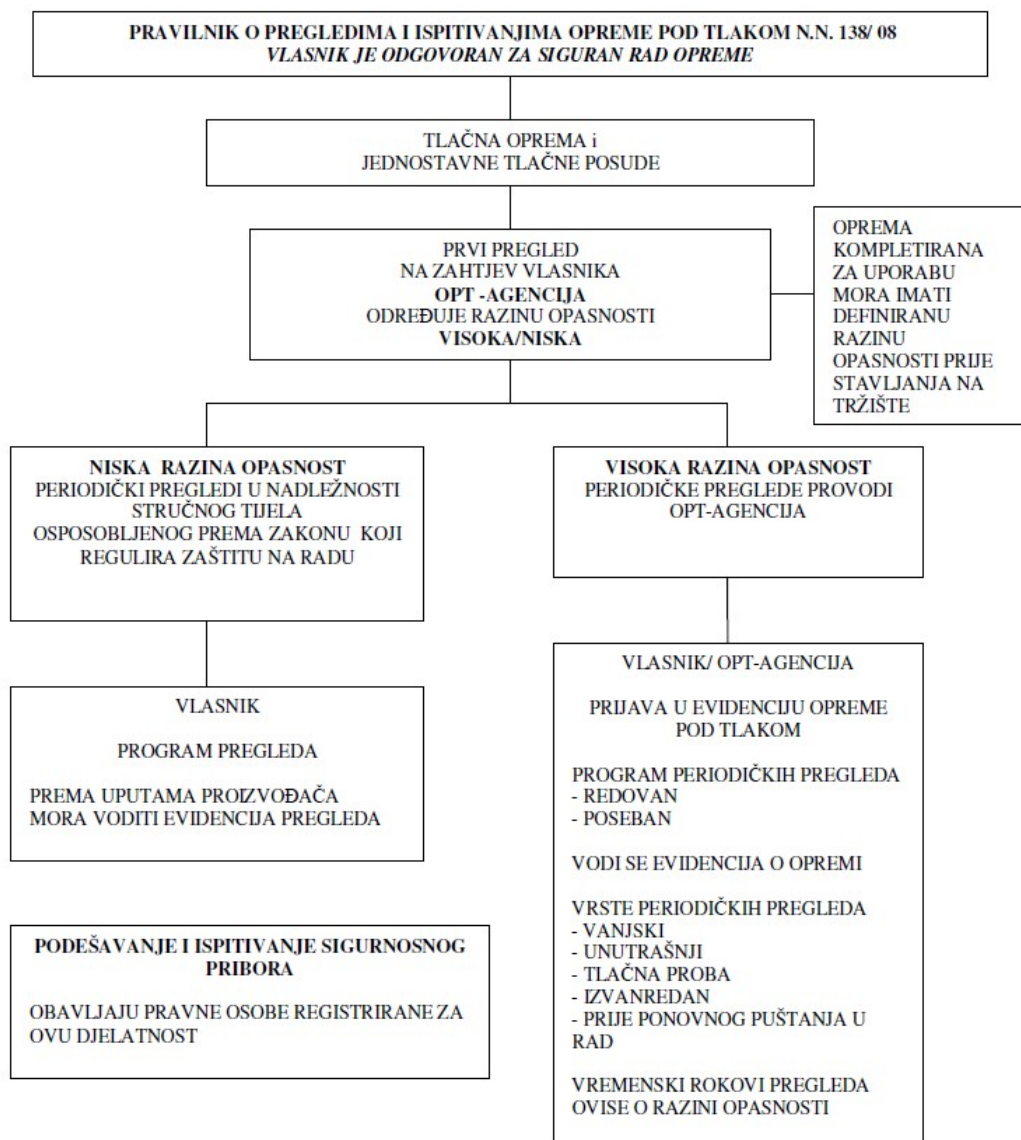
- jako zapaljive,
- zapaljive (kada je najveća dozvoljena temperatura iznad plamišta)
- vrlo toksične,
- toksične,
- oksidirajuće.

- **Grupa 2** – svi ostali fluidi koji nisu navedeni u Grupi 1.

OPT-AGENCIJA (Agencija za opremu pod tlakom) jedina u Republici Hrvatskoj ima ovlasti obavljati razvrstavanje na razinu opasnosti i periodičke preglede i ispitivanja opreme pod tlakom visoke razine opasnosti te, iako se to zakonski ne zahtijeva, može pregledavati i opremu pod tlakom niske razine opasnosti. Prilikom pregleda opreme pod tlakom, OPT-AGENCIJA mora provjeriti jesu li ispunjeni uvjeti za rad predmetne opreme pod tlakom propisani od strane proizvođača i oni iz projektne dokumentacije tehnološke cjeline, te u kolikoj mjeri eventualna odstupanja utječu na ispunjavanje bitnih sigurnosnih zahtjeva propisanih za tu opremu. [15]

Razina opasnosti opreme pod tlakom određuje se prema dijagramima iz Pravilnika o pregledima i ispitivanjima opreme pod tlakom (NN 27/2017). Pravilnik određuje i obveze vlasnika i korisnika tlačne opreme (obveza je vlasnika/korisnika opreme pravilna priprema opreme za pregled), vrste pregleda i ispitivanja, vremenske rokove pregleda pojedinih uređaja i opreme vezane uz siguran rad opreme u uporabi. [14, 15]

Na slici 5 prikazana je struktura pravilnika o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom.



Slika 5: Struktura pravilnika o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom [2]

Kada se posuda sastoji od više komora, klasificira se prema komori s najvišom kategorijom, a kada sadrži nekoliko vrsta fluida, klasifikacija se vrši na temelju fluida koji zahtijeva najvišu kategoriju. Tlačna oprema i sklopovi smiju se staviti na raspolaganje na tržište i u uporabu samo ako zadovoljavaju zahtjeve Pravilnika o tlačnim posudama, kada su pravilno ugrađeni i održavani te korišteni u predviđene svrhe.



## 8.1. Sigurnosni pribor

Sigurnosni pribor konstruiran je i izrađen tako da bude pouzdan i prikladan za svoju namjenu te da se, prema potrebi, vodi računa o održavanju i zahtjevima za ispitivanje uređaja. Sigurnosni pribor mora biti neovisan o drugim funkcijama, osim ako na njegovu sigurnosnu funkciju te druge funkcije nemaju utjecaja. Ovi uređaji konstruiraju se tako da tlak ne može trajno prekoračiti najveći dopušteni tlak PS. Međutim, po potrebi je dopušteno kratkotrajno prekoračenje tlaka koje je u skladu sa specifikacijama i ograničava se na 10% najvećeg dopuštenog tlaka. [1]

Na spremnik je potrebno postaviti sigurnosni ventil jer svako pretjerano povećanje tlaka u spremniku može predstavljati veliku opasnost po ljude i okolinu. Prema ASME standardu sve tlačne posude moraju biti opremljene sredstvima za zaštitu od prekomjernog tlaka. Uloga sigurnosnog ventila je propuštanje masenog toka u slučaju prevelikog povećanja tlaka. Tlačna oprema može se zaštititi drugim zaštitnim uređajima u okviru sklopa. Odgovarajući uređaj, indikatori i/ili alarmi koji omogućuju automatsko ili ručno aktiviranje kako bi se tlačna oprema zadržala u okviru dopuštenih granica, ili kombinacija takvih uređaja utvrđena je na temelju karakteristika opreme ili sklopa. [5]

Podešavanje i ispitivanje sigurnosnog ventila može obavljati samo pravna osoba registrirana za tu djelatnost. Pravna osoba dužna je na zahtjev OPT-AGENCIJE pružiti uvid u svoje aktivnosti i dostaviti dokaze o ispunjavanju zahtjeva te nakon svake aktivnosti na sigurnosnom ventilu pravna osoba izdaje uvjerenje o obavljenim radnjama i stavlja na jedinicu sigurnosnog ventila naljepnicu ili plombu sa svojim identifikacijskim znakom. [16]

Pravilnik o tlačnoj opremi jasno definira zahtjeve za ograničavanje tlaka i kaže da povećanje tlaka ne smije prekoračiti maksimalni dozvoljeni tlak PS za više od 10%. U slučaju kad je tlačna oprema konstruirana za određene radne parametre i kad su radni tlak i temperatura nepromjenljivi vrijednosti proračunskog tlaka i tlaka PS bit će iste. Poslove podešavanja i ispitivanja sigurnosnog ventila može obavljati pravna osoba koja ima akreditaciju prema normi HRN EN ISO/IEC 17025. OPT-AGENCIJA priznaje akreditaciju

pravnih osoba i prema norm i HRN EN ISO/IEC 17020 za poslove podešavanja i ispitivanja sigurnosnog ventila.

Sigurnosni ventil vlasnik mora održavati i dati podesiti prema uputama proizvođača i tehničkim specifikacijama, najmanje jedanput u dvije godine i to prije vanjskog pregleda, računajući od prvog pregleda opreme pod tlakom. Rok obaveznog pregleda za sigurnosni ventil može se skratiti kad OPT-AGENCIJA, uzevši u obzir rizik od otkaza, grupu fluida, tlak i volumen/nazivni promjer tlačne opreme, to smatra za neophodno. Rad sigurnosnog pribora opreme pod tlakom vlasnik mora provjeriti i dati podesiti najmanje jedanput godišnje, računajući od prvog pregleda opreme pod tlakom. [14]

## 6. OSIGURANJE KVALITETE ZAVARENIH SPOJEVA

### 6.1. Postupci kontrole

Kako bi se osigurala kvaliteta zavarenog spoja i ekonomičnost proizvodnje, cijeli proces zavarivanja mora se kontrolirati od samog početka izvedbe. Kako bi se obuhvatili svi čimbenici koji mogu utjecati na proces zavarivanja, preporučeno je implementirati sustav osiguranja kvalitete. Međunarodnim normama propisani su zahtjevi koje proizvođač mora zadovoljiti kako bi mogao primijeniti adekvatne postupke te su navedeni svi čimbenici koji mogu utjecati na proces zavarivanja. U postupcima kontrole razlikuju se tri kronološki karakteristična razdoblja, kako je prikazano u tablici 2, u kojima se kontrola izvodi.

Tablica 2: Postupci kontrole kvalitete [16]

1.- Prije zavarivanja	2.-Tijekom zavarivanja	3.- Nakon zavarivanja
1.1. kontrola projektne i radioničke dokumentacije (kontrola tehnološkičnosti) 1.2. kontrola osnovnog i dodatnog zavarivanja 1.3. kontrola tehnološkog redoslijeda zavarivanja 1.4. kontrola pripremnih i izvršnih vremena 1.5. provjera (atestiranje) zavarivača i postupaka zavarivanja 1.6. kontrola pripreme radnog mjesta 1.7. utvrđivanje kontrolnog alata i pribora 1.8. kontrola pripreme za zavarivanje (uključujući pripremu kosine žlijeba i sušenje dodatnog materijala) 1.9. kontrola strojeva i uređaja, uključujući i priključivanje "mase" 1.10. kontrola izvođenja i temperature predgrijavanja 1.11. kontrola opreme i uvjeta za obradu i čuvanje dodatnih materijala	2.1. kontrola pripajanja 2.2. kontrola postupka zavarivanja 2.3. kontrola redoslijeda zavarivanja 2.4. kontrola parametara i ostalih uvjeta zavarivanja 2.5. kontrola postupaka toplinske obrade u tijeku zavarivanja 2.6. međufazna nerazorna kontrola 2.7. kontrola označavanja zavara nakon zavarivanja 2.8. provjera dimenzija i deformacije 2.9. kontrola zavarivanja posebnih detalja	3.1. detaljna vizualna kontrola 3.2. kontrola površinske obrade zavarenog spoja 3.3. mjerenje ukupne deformacije 3.4. praćenje možebitnih popravaka zavarenog spoja 3.5. nerazorna kontrola popravaka 3.6. kontrola toplinske obrade nakon zavarivanja 3.7. nerazorna kontrola 3.8. ispitivanje hidrostatskim tlakom ili kontrola nepropusnosti spoja (ako se zahtijeva) 3.9. kontrola uzoraka razaranjem 3.10. izdavanje cjelokupne kontrolne (dokazne) dokumentacije

Kontrola i ispitivanje nedjeljivi su poslovi u svim fazama nastajanja i eksploatacije zavarenog spoja. Prvenstvena im je zadaća u stvaranju uvjeta za besprijekorno izvođenje zavarenog spoja. Osiguranje kvalitete je vrlo složen skup organizacijsko-tehničkih mjera i zahvata za postizanje i održavanje postignutog stupnja u kvalitetnoj i sigurnoj proizvodnji, a kontrola i ispitivanje su samo dio, istina važan, sustava osiguranja kakvoće. Postupci kontrole zavarenog spoja trebali bi biti ugrađeni u proces nastajanja zavarenog spoja, kao i njegov sastavni i nezaobilazni dio, svugdje gdje se vodi računa o kakvoći zavarivanja. [16]

## 6.2. Kontrola prije zavarivanja

U većem dijelu kontrola prije zavarivanja u zavarivačkim pogonima je znatno zanemarena. Kontrolom projektne (osnovni zahtjevi) i radioničke (izvedbene) dokumentacije, tj. kontrolom tehnološkičnosti konstrukcije spriječit će se brojni nesporazumi i greške. Sustavom normi HRN EN ISO 3834: Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala, zahtijeva sudjelovanje odgovornog osoblja za zavarivanje u procesu pregleda tehničke dokumentacije pri sklapanju ugovora kako bi se osigurala provedba zavarivačkih aktivnosti. [16]

Kontrola osnovnog i dodatnog materijala u većini slučajeva provodi se uspoređujući vjerodostojnost popratne dokumentacije i sukladnosti oznaka otisnutih na materijalu ili ambalaži. Kod skladištenja dodatnih materijala mora se pridržavati vrijednosti temperature i sadržaja vlage u zraku. Uvjeti u skladišnom prostoru provjeravaju se pomoću termometra i higrometra. Dodatni materijali trebaju se odlagati u za to posebno opremljenim prostorima kako bi se mogli regulirati mikrouvjeti. [16]

Kontrola tehnološkog redoslijeda zavarivanja ima prvenstvenu namjenu sprječavanje povećanih naprezanja i deformacije konstrukcije u zavarivanju, ali će umnogome pridonijeti logičnijem i bržem sastavljanju proizvoda. Redoviti zahtjev svih kupaca i nadzornih tijela je atestiranje zavarivača i postupaka zavarivanja kao i izvođenje tzv. "pristupne probe" za složene proizvode. [16]

### **6.2.1. Kontrola opreme za zavarivanje**

Svi postupci i oprema koja se primjenjuje prilikom izrade određenog proizvoda mora biti atestirani. Norma HRN EN ISO/TR 3834-6:2008 Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala – 6 dio: Smjernice za primjenu norme ISO 3834 zahtijeva da se održava popis opreme i sredstava koja se koriste u zavarivačkim radovima. Samim time od proizvođača se očekuje da provodi sustav za utvrđivanje, kontrolu, održavanje i umjeravanje u cjelokupne proizvodne opreme. [16]

Umjeravanje i ovjeravanje su pojmovi koji su predmet norme HRN EN ISO 17662: 2008 Zavarivanje, umjeravanje, provjera i vrednovanje opreme za zavarivanje uključujući pomoćne aktivnosti, a odnose se na ispitivanje parametara opreme u predviđenim vremenskim intervalima prema planu umjeravanja. Umjeravanje se zahtijeva tamo gdje kvaliteta zavara ovisi o točnosti i ponovnim postavkama parametara. [16]

Mjerenje, ispitivanje i obrada mjernih podataka u zavarivanju imaju posebnu važnost radi osiguranja kvalitete i pridržavanja tehnoloških smjernica. Koordinator zavarivanja moraju biti upoznati sa svim aspektima mjerenja i mogućnostima mjernih uređaja. Sve stroži zahtjevi za aktualne materijale s gledišta unosa topline i samog toplinskog ciklusa kod zavarivanja, zahtijevaju kvalitetnu kontrolu parametara zavarivanja. Tehnološka i ekonomska učinkovitost zavarivanja ovise o pridržavanju zadanih dimenzija zavara i same konstrukcije, što se može osigurati kontinuiranom i sustavnom provedbom kontroliranih mjerenja u radioničkim i montažnim uvjetima. [16]

#### **6.2.1.1. Mjerenje parametara zavarivanja**

Određivanje jakosti struje, napona i brzine zavarivanja važno je za egzaktn izračun unosa topline čime se stvaraju preduvjeti za dobivanje tražene mikrostrukture, geometrije zavara, ali i utvrđivanje je li određena realna situacija primjenjiva za odgovarajuću kvalifikaciju postupka zavarivanja. [16]

Kod mjerenja parametara zavarivanja najčešće se određuju vrijednosti:

- Struja zavarivanja  $I$ , (A)
- Napon zavarivanja  $U$ , (V)
- Brzina žice (MIG/MAG),  $v_z$  (m/min)
- Protok plina  $Q_{pl}$  (l/min)
- Brzina zavarivanja (mehanizirano zavarivanje),  $v_z$  (cm/min)

Osim mjerenja temperature predgrijavanja i temperature međuprolaznih slojeva, mjerenjem temperature može se odrediti cjeloviti toplinski ciklus grijanja i hlađenja pri zavarivanju, kao i optimalizacija procesa s obzirom na unesenu toplinu i uvjete zavarivanja.

#### 6.2.1.2. Kontrola pravovaljanosti uređaja za zavarivanje

Validacija ili kontrola pravovaljanosti izvora struje, dodavača žice i ostale opreme za zavarivanje kao i mjernih instrumenata (voltmetra i ampermetra na uređajima) provodi se prema zahtjevima norme HRN EN 50504: 2008- Validacija elektrolučne opreme za zavarivanje. Tom kontrolom određuje se zadovoljava li izvor struje ili dio opreme za zavarivanje propisane operativne značajke tako da se pomoću umjerenih kontrolnih mjernih uređaja (voltmetar i ampermetar) za podešenu vrijednost parametra bilježi stvarna vrijednost struje i napona te vrijednost očitana na mjernim instrumentima uređaja. U postupku validacije provedena se mjerenja uspoređuju s propisanim odstupanjima iz norme te se izdaje izvještaj o zabilježenim odstupanjima. Preporuka je da se validacija provodi jednom na godinu. [16]

Prema normi HRN EN ISO 17662:2008 Zavarivanje- Umjeravanje, provjeravanje i vrednovanje opreme za zavarivanje (uključujući i pomoćne aktivnosti), veličine za elektrolučno zavarivanje koje se provjeravaju su sve one čije odstupanje od zadanih vrijednosti može utjecati na kvalitetu zavara (prvenstveno preko promjene unosa topline). [16]

Koordinator zavarivanja mora voditi računa o tome da se sva oprema održava i redovito provjerava ovisno o zahtjevima. Proizvođač bi trebao posjedovati procedure za označavanje, kontrolu, održavanje i validaciju opreme te također imenovati odgovorne osobe koje će provoditi propisanu proceduru te spriječiti upotrebu neispravne opreme. [16]

Za umjeravanje mjerne i kontrolne opreme treba koristiti usluge ovlaštenih laboratorija. Umjeravanje je skup podataka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje mjerni instrument ili mjerni sustav i odgovarajućih vrijednosti veličine. Rezultat umjeravanja dopušta procjenu pogrešaka pokazivanja mjernog instrumenta. [16]

### **6.3. Kontrola tijekom zavarivanja**

U tijeku zavarivanja naročito treba obratiti pozornost na savjesno izvršavanje postupaka kontrole pripajanja, postupka zavarivanja, redoslijeda zavarivanja, kontrola parametra te postupaka toplinske obrade u tijeku zavarivanja. [16]

#### **6.3.1. Posmaknutost u sučeljavanju stijenki**

Smaknutost je odstupanje od osi u sučeljavanju dvaju elemenata istih debljina kod spajanja zavarivanjem. Takvom pogreškom smanjuje se čvrstoća zavarenog spoja i kod dobro izvedenog zvara. Tumači se nepovoljnim rasporedom (lomom) silnica kod opterećenog zavarenog spoja. Ovakva pogreška na unutarnjoj strani cijevi, gdje velikom brzinom prolazi neki medij, npr. para, s vremenom uzrokuje ostećenje erozijom, ali i poremećaj prolaza medija (vrtloženje). Posmaknutost u sučeljavanju nastaje nepažnjom radnika koji obavlja pripremu spoja za zavarivanje ili u slučaju pomicanja rubova u sučeljavanju uslijed loma pripoja tijekom zavarivanja. U svakom slučaju, smaknutost se mora spriječiti vizualnom kontrolom prije zavarivanja. [16]

U danjem dijelu teksta usporedit će se zahtjevi za dopuštene proizvodne tolerancije u slučaju posmaknutosti sučeljenih stijenki prema normi EN 13445: 2009- Neložene tlačne posude- 4. Dio: Izrada i prema normi EN 12952: 2011- Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije – 5. dio: Radionička izrada i konstrukcija dijelova kotla pod tlakom

### 6.3.1.1. Norma EN 13445: 2009 Neložene tlačne posude- 4. Dio: Izrada

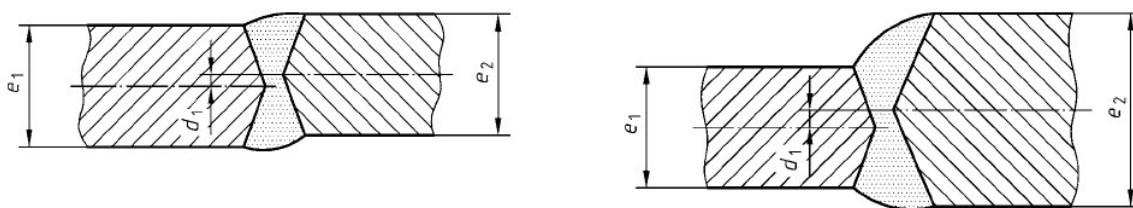
#### Posmaknutost u sučeljavanju stijenki [11]

Geometrija površina zavarenih kutnih i sučeljenih spojeva neloženih tlačnih posuda mora udovoljavati zahtjevima norme EN 13445: 2009 Neložene tlačne posude- 4. Dio: Izrada, osim ako nacrt ne određuje strože zahtjeve. Prilikom zavarivanja zbog lošeg pripoja radnih ploča može doći do nejednolike visine površina. Tamo gdje postoji neusklađenost na površini između dijelova iste nominalne debljine prijelaz preko zvara mora biti gladak i postepeni s nagibom od 1/4 u odnosu na širinu zavarivanja.

Ako se takav nagib ne može realizirati sa širinom zvara potrebno je učiniti sljedeće:

- pobrusiti višu površinu ploče tamo gdje to neće smanjiti debljinu spoja u bilo kojoj točki ispod nominalne specificirane debljine ploče umanjenu za toleranciju debljine ploče
- navariti na nižu površinu ploče dodani materijal

Odstupanje od središnje osi prikazano je na slici 6, a dopuštene tolerancijske vrijednosti u tablicama 3, 4, 5.



Slika 6: Odstupanje od središnje osi [11]:

- odstupanje od središnje osi  $d_1$  kod iste debljine materijala  $e_1 = e_2$
- odstupanje od središnje osi  $d_1$  kod materijala različitih debljina  $e_1 \leq e_2$



Tablica 3: Odstupanje od središnje osi za uzdužne zavare kod cilindričnih, konusnih i prizmatičnih struktura [11]

Debljina tanjeg dijela $e_1$ (mm)	Maksimalno odstupanje $d_1$ (mm)
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 60$	$e_1/30 + 2$
$60 < e_1$	4

Tablica 4: Odstupanje od središnje osi kod uzdužnih zavara na krajevima i sferičnim dijelovima susjednih dijelova [11]

Debljina tanjeg dijela $e_1$ (mm)	Maksimalno odstupanje $d_1$ (mm)
$e_1 \leq 2$	0,5
$2 < e_1 \leq 4$	$e_1/4$
$4 < e_1 \leq 10$	1
$10 < e_1 \leq 30$	$e_1/10$
$30 < e_1 \leq 120$	$e_1/30 + 2$
$120 < e_1$	6

Tablica 5: Odstupanje od središnje osi kod obodnih zavara susjednih dijelova [11]

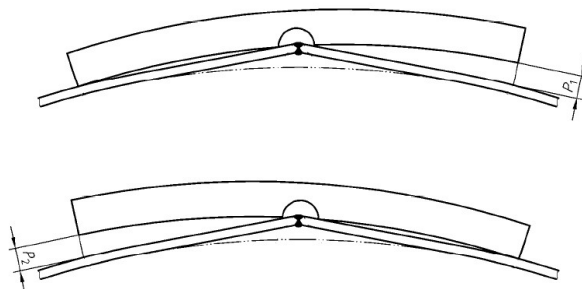
Debljina tanjeg dijela $e_1$ (mm)	Maksimalno odstupanje $d_1$ (mm)
$e_1 \leq 30$	$e_1/10 + 1$
$30 < e_1 \leq 150$	$e_1/30 + 3$
$150 < e_1$	8

### Uzvišenja na uzdužnim zavarima

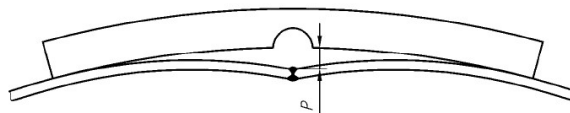
Zbog loše pripreme radnih komada ili dijelova za zavarivanje javljaju se nepravilnost na profilu zavara i povezane su s ravnošću zavarenih površina. Nepravilnosti na profilu ne miju prijeći vrijednosti date u tablicama 7 i 8. Mjerenje izbočenja vrši se pomoću mjerača (ili predloška) od 20°, slike 7 i 8. Za vanjsko izbočenje treba uzeti dva očitavanja,  $P_1$  i  $P_2$  na svakoj strani spoja, na bilo kojem mjestu, slika. Maksimalni odstupanje  $P$  određeno je pomoću jednadžbe. [11]

$$P = 0,25 \cdot (P_1 + P_2) \quad (6.3.1.1.)$$

Unutarnje izbočenje  $P$  potrebno je izmjeriti, a unutarnji radijus mjerača mora biti jednak nominalnom polumjeru posude.



Slika 7: Mjerenje vanjskog izbočenja [11]



Slika 8: Mjerenje unutarnjeg izbočenja [11]

Mjerenja se moraju provesti na razmaku od oko 250 mm na uzdužnim zavarima kako bi se utvrdilo mjesto s maksimalnim odstupanjem. Maksimalna vršna vrijednost za dinamička i ciklička opterećenja mora biti u skladu s tablicom 6 i za statička opterećenja prema tablici 7 [11].

Tablica 6: Maksimalno dozvoljeno odstupanje  $P$  u uzdužnim zavarima za dinamička i ciklička opterećenja [11]

Debljina stijenke posude $e$ (mm)	Maksimalno dozvoljeno odstupanje $P$ (mm)
$e \leq 3$	1,5
$3 \leq e < 6$	2,5
$6 \leq e < 9$	3,0
$9 \leq e$	Manje od $e/3$ , ili 10 mm

Tablica 7: Maksimalno dozvoljeno Peaking  $P$  u uzdužnim zavarima za statička opterećenja [13]

Odnos debljine stijenke posude $e$ (mm) u odnosu na promjer $D$ (mm)	Maksimalno dozvoljeno odstupanje $P$ (mm)
$e/D \leq 0,025$	5
$e/D > 0,025$	10

### 6.3.1.2. Norma EN 12952: 2001 Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije – 5. dio:

#### Radionička izrada i konstrukcija dijelova kotla pod tlakom

Dopuštena odstupanja od središnje linije i uzvišenja na površini, moraju biti u tolerancijama kako je dano u tablicama, gdje je  $e$  debljina najtanje ploče u zavarenom spoju. Za uzdužne zavare na cilindričnim kotlovima, središnje osi susjednih ploča moraju biti poravnate unutar tolerancija navedenih u tablici 8, a za obodne zavare dopuštene tolerancije navedene su u tablici 9. [12]

Tablica 8: Odstupanje od središnje linije za uzdužne zavare na cilindričnim dijelovima [12]

Debljina stijenke posude $e$ (mm)	Odstupanje od središnje linije (mm)
$e_a \leq 10$	$\leq 1$
$10 < e_a \leq 50$	$\leq e_a/10$ ili 3, odabire se manja vrijednost
$e_a > 50$	$\leq e_a/16$ ili 10, odabire se manja vrijednost

Tablica 9: Odstupanje od središnje linije za obodne zavare na cilindričnim dijelovima [12]

Debljina stijenke posude $e$ (mm)	Odstupanje od središnje linije (mm)
$e_a \leq 10$	$\leq 1$
$10 < e_a \leq 60$	$\leq 10\%$ od debljine tanjeg dijela plus 1, ili 6, ovisno koji je manji
$e_a > 60$	$\leq 10\%$ od debljine tanjeg dijela

Površinska odstupanja ravnosti površine ne smiju prijeći zadane tolerancije u tablicama 10 i 11.

Tablica 10: Površinska odstupanja ravnosti površine za uzdužne zavare [12]

Debljina stijenke posude $e$ (mm)	Odstupanje od površine (mm)
$e_a \leq 12$	$\leq e_a/4$
$12 < e_a \leq 50$	$\leq 3$
$e_a > 50$	$\leq e_a/16$ ili 10, odabire se manja vrijednost

Tablica 11: Površinska odstupanja ravnosti površine za obodne zavare [12]

Debljina stijenke posude $e$ (mm)	Odstupanje od površine (mm)
$e_a \leq 20$	$\leq e_a/4$
$20 < e_a \leq 40$	$\leq 5$
$e_a > 40$	$\leq e_a/8$ ili 20, odabire se manja vrijednost

#### **6.4. Kontrola nakon zavarivanja**

Postupci nakon zavarivanja u slučaju ispravno provedenih radova iz prethodnih faza, osim onih koji predstavljaju logički završetak kontrolnih funkcija u izradi, trebaju biti samo propisani za dokazivanje kvalitete izvedenog posla. U većini slučajeva, nažalost, to nije slučaj već je stanje ozbiljnije zbog činjenice da se dio pogrešaka ni tada ne otkrije nego se problem prosljeđuje u razdoblje eksploatacije što kod tlačne opreme može imati neželjene posljedice. U slučaju popravaka zavarenih spojeva, naročitu pozornost treba obratiti propisanoj toplinskoj obradi za smanjenje naprezanja nakon zavarivanja. Najčešće se radi “uštede u vremenu” toplinska obrade ne provodi što također ima posljedice koje mogu skupo koštati. Zapisnik o detaljima tehnologije popravaka obavezno se prilaže dokumentaciji. [16]

## 7. NERAZORNA ISPITIVANJA

Ispitivanje metodama bez razaranja može provoditi samo kvalificirano osoblje odobreno od priznate neovisne organizacije. U Republici Hrvatskoj ovlaštena i prijavljena tijela u NANDO bazi (New Approach Notified and Designated Organisations) za obavljanje poslova prema Pravilniku o tlačnoj opremi je Hrvatsko društvo za kontrolu bez razaranja d.o.o. (HDKBR) i Hrvatski centar za nerazorna ispitivanja (CENI).

Tlačna oprema prolazi završnu inspekciju kako bi se vizualno te provjerama priloženih dokumenata ocijenila njezina sukladnost zahtjevima Pravilnika o tlačnoj opremi. Ispitivanja provedena za vrijeme proizvodnje uzimaju se u obzir. Dokle god je to potrebno, iz sigurnosnih razloga, završna se inspekcija provodi s vanjske i unutarnje strane svakog dijela opreme, prema potrebi i za vrijeme proizvodnje (npr. ako više nije moguće izvršiti ispitivanja za vrijeme završne inspekcije). [1]

Metode kontrole bez razaranja su:

- vizualna kontrola
- dimenzionalna kontrola
- penetrantska kontrola
- magnetska kontrola
- ultrazvučna kontrola
- radiografska kontrola
- akustička emisija

### 7.1. Vizualna kontrola

Vizualna se metoda koristi za otkrivanje površinskih grešaka kao što su korozija, završna obrada i otkrivanje grešaka spojeva. Ima preventivnu ulogu te je potrebno znati promatrati i ocijeniti što vidimo. Vizualna kontrola je najvažniji čimbenik u nastajanju zavarenog spoja, naravno osim zavarivanja. Pomna vizualna kontrola je obavezna prije provedbe ostalih metoda nerazornog ispitivanja te sve vrste zavara moraju biti podvrgnute

vizualnoj kontroli. Njezina preventivna uloga je ta da vizualnim ispitivanjem, uz provedbu pravodobnog nadzora, omogućuje direktan utjecaj na provođenja zavarivanja u odnosu na ostale tehnike nerazornog ispitivanja. Pri vizualnoj kontroli nositelj signala je svjetlost i moguća je provedba s pomagalima ili bez pomagala. Pomagala čine lupe, povećala, ogledala, endoskopi (boroskopi, fibroskopi, videoskopi).

U slučaju dvojbe oko interpretacije nalaza vizualno ispitivanje se mora nadopuniti nekom drugom metodom nerazornog ispitivanja. Kod vizualne kontrole ispitivanje se najčešće vrši u 100-postotnom opsegu. [16]

## 7.2. Radiografska kontrola

Defektoskopija metodom prozračivanja koristi svojstva  $X$  (rendgenskih) i  $\gamma$  (radioizotopi) zraka koje za razliku od zraka svjetlosti prodiru kroz sve danas poznate materijale. To svojstvo proizlazi iz vrlo male duljine elektromagnetskih titraja visoke energije. Ovo zračenje pripada u skupinu ionizirajućeg zračenja što je u ovisnosti o jakosti izvora, udaljenosti i vremenu izloženosti, vrlo štetno za zdravlje i život. Prolazeći kroz materijal, to zračenje je u ovisnosti o određenim svojstvima materijala. Različiti dijelovi apsorbiraju različite količine penetrirajućeg zračenja pri različitim debljinama, gustoći ili karakteristikama upijanja, a ispitivanje se vrši promatranjem tih istih razlika. Ako se u nekom materijalu nalaze nehomogenosti, one će imati različita svojstva apsorpcije, što znači da će na izlazu zračenje iz prozračenog materijala ispod takve nehomogenosti imati različitu jakost energije zračenja (najčešće bitno višu) nego na ostalim mjestima. [16]

Specifične radiološke metode ostavljaju trajnu sliku na filmu (konvencionalna radiografija) ili na papiru (xeroradiografija) dok radioskopija obuhvaća i digitalnu radiografiju kod kojeg se zračenje pretvara u elektronski ili optički signal. Najčešći oblik korištenja metode radiografije je tehnika filmske radiografije.

Prednosti [17]:

- zapis o provedenom ispitivanju i dobivenim rezultatima (radiogram koji je moguće bilo kada kasnije pregledati)
- zadovoljavajuća osjetljivost u otkrivanju pogrešaka: pouzdano se mogu otkriti pogreške veličine 1,5-2% debljine materijala.
- jednostavna mogućnost identifikacije mjesta pogreške

Nedostaci [17]:

- vremenski odmak od provedenog ispitivanja do rezultata
- potrebno je stalno obnavljati izvor zračenja (izotop)
- dok se provodi ispitivanje ne smiju u blizini biti drugi ljudi (opasnost od ionizirajućeg zračenja)
- ne može se, u pravilu, odrediti dubina nepravilnosti
- zavisi od aktivnosti izotopa, debljini ispitnog objekta i udaljenosti, ispitivanje može dugo trajati
- odlaganje kemikalija (teški metali) i izotopa (radioaktivni otpad)

### 7.3. Ultrazvučna kontrola

Ultrazvučna defektoskopija temelji se na odašiljanju zvučnih valova određenog spektra frekvencije kroz neki materijal s ciljem pronalaženja pogrešaka u materijalu pomoću ultrazvuka. Akustička impedancija, dinamički otpor medija, je stalna i poznata konstanta materijala. Kada ultrazvučni val nailazi na razdjelnu plohu zbog velikih razlika akustičnih impedancija na prijelazu iz metala u neki drugi medij (zrak, trosku..) znatnim će se dijelom odbiti natrag u metal (uz određene pretvorbe), otkrivajući time da je naišao na prepreku. Za kvalitetno provođenje ultrazvučne defektoskopije potrebno je mnogo znanja i iskustva, što je najveća prednost, a ujedno i nedostatak primjene ove metode. [16]

Ultrazvučna metoda sastoji od nekoliko funkcionalnih cjelina, a to su prijemnik, sonda i uređaj za prikaz rezultata. Prijemnik proizvodi visoki napon električnih impulsa, a pomoću njega, sonda generira visoke frekvencije ultrazvučne energije.

Ultrazvučnom metodom otkrivaju se različite greške u dubini materijala kada je primjena magnetske metode onemogućena, a debljina sloja ograničava rendgenska i gama zračenja.

Prednosti [16]:

- Područje debljine ispitivanog predmeta je neograničeno
- dovoljan pristup predmetu kontrole samo s jedne strane
- provođenje kontrole je bezopasno
- uređaji i pribor su maleni i lako prenosivi
- osjetljivost metode je relativno visoka i pronalaženje pogrešaka relativno jednostavno
- moguća elektronička obrada podataka
- neosjetljiva na uvjete okoline (temperatura, vlaga, vjetrovitost)

Nedostaci [16]:

- interpretacija nalaza kontrole ovisi o znanju, iskustvu i savjesnosti ispitivača
- dugotrajno i skupo osposobljavanje i izvježbavanje ispitivača
- teško se ispituju materijali koji su nepravilnog oblika

#### **7.4. Penetrantska kontrola**

Površina koja se ispituje, a to je zavareni spoj i minimalno 10 mm s obje strane zavora, treba biti suha i čista tj. ne smije biti hrđe, ulja, masti, boja ili drugih nečistoća. Da se spriječi ovlaživanje prekidnosti, temperatura ispitne površine mora biti između 10 °C i 50°C.

Prednosti [17]:

- jednostavnost primjene
- velika osjetljivost na sitne prekidnosti površine
- primjenjiva na različitim vrstama materijala (metali i nemetali, magnetični i nemagnetični)
- relativno brzo i jeftino ispitivanje velikih površina i površina složene geometrije
- indikacije prekidnosti uočavaju se odmah na površini



Nedostaci [17] :

- ispitivanje samo prekidnosti otvorenih na površinu
- hrapavost površine može utjecati na osjetljivost rezultata ispitivanja
- zahtjeva se čišćenje nakon ispitivanja
- pouzdanost rezultata ispitivanja u velikoj mjeri ovisi o svojstvima ispitivača

### **7.5. Magnetska kontrola**

Prolaskom magnetskog toka kroz diskontinuitet na ispitnoj površini doći će do skretanja i koncentracije magnetskih silnica u presjeku ispod diskontinuiteta. Ovom metodom otkrivaju se pogreške tipa pukotine, zarezi i veći uključci. [16]

Prednosti [16]:

- jednostavnost postupka
- jeftini uređaji

Nedostaci [16] :

- teško otkriti sve dimenzije navedenih pogrešaka
- otpadanje učinkovitosti s porastom dubine potpovršinske pogreške u materijalu

## **8. USPOREDBA ZAHTJEVA ZA UDIO NERAZORNOG ISPITIVANJA PREMA NORMAMA EN 13445-5 I EN 12952-6**

### **8.1. Norma EN 13445-5:2009- Neložene tlačne posude– 5. dio: Pregled i ispitivanje**

Nerazorno ispitivanje zavarenih spojeva radi konačnog prihvatanja ovisi o ispitnoj skupini ili podskupini zavarenog spoja koji se razmatra. Završno zavarivanje mora biti podvrgnuto vizualnom pregledu. Osim toga, ovisno o grupi za testiranje, gotovi zavareni spojevi podliježu nerazornim ispitivanjima sukladno tablicama 12 i 13 za tu vrstu zavarivanja. Potreban postotak nerazornih ispitivanja ovisi o ispitnoj skupini i vrsti zavarenih spojeva. [18]

#### ***8.1.1. Smjernice za određivanje potrebne razine testiranja***

U tablici 12, ispitne skupine 1, 2, 3 i 4 primjenjuju se ispod granice puzanja materijala. Testne skupine 1, 2 i 3 podijeljene su u podskupine 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, kako bi se odrazila osjetljivost materijala na nastanak pukotina. Skupine ili podskupine ispitivanja uzimaju u obzir poteškoće u proizvodnji ovisne o vrsti čelika, maksimalnoj debljini materijala, procesu zavarivanja, rasponu temperatura i koeficijentu zavora. Grupe čelika određene su standardom ISO/TR 15608 Zavarivanje - Upute za sustav razvrstavanja metalnih materijala. Namjera je da svaka ispitna skupina osigura odgovarajući integritet za tipične primjene unutar ograničenja sadržanih u tablici 12. Za tlačne posude dizajnirane eksperimentalnim metodama, ispitna skupina koju treba uzeti u obzir za tlačnu posudu ili dio tlačne posude određuje se u skladu s pravilima navedenim u tablici 6.6.1-1 i mogućim ograničenjima navedenim u EN 13445-3:2009. [18]

### **Ispitne skupine 1, 2 i 3**

Namjera ispitne skupine je da se jedna ispitna skupina primjenjuje na cijelu posudu. Kada je tlačna posuda načinjeno od više dijelova (sekcija) dopuštena je kombinacija ispitnih skupina 1, 2 i 3, pod uvjetom da su ispunjeni zahtjevi navedeni u tablici 12.

Ako je kombinacija ispitnih skupina neophodna, na primjer kao rezultat korištenja konstruiranja na temelju proračuna primjenjuju se sljedeće:

- A) u svakom dijelu tlačne posude, ispitna skupina za zavarene spojeve plašta mora odrediti minimalan broj skupina za ispitivanje svih zavara, uključujući zavarene priključke
- B) ispitna skupina zavara između dva zavarena dijela različitih ispitnih skupina mora biti veća od te dvije ispitne skupine
- C) minimalna skupina za ispitivanje (tj. ona s nižom razinom nerazornih ispitivanja) zavarenih spojeva između zavarene komponente i nezavarene ili između dvije bešavne komponente, određuje se dopuštenom debljinom (tj. stvarna debljine manje tolerancije manje korozijske dopuštene vrijednosti) kod zavarivanja. Gdje je dopuštena debljina veća od 1,17 puta u odnosu na minimalnu debljinu, ispitna skupina zavara mora biti najmanje 3. Inače, ispitat će se skupine 1 ili 2 prema tablici 12. [18]

### **Ispitna skupina 4**

Ispitna skupina 4 upotrebljava se kao jedna skupina za cijelu posudu i ne smije se koristiti s drugim ispitivanim skupina. [18]

Tablica 12: Ispitne skupine čelika za tlačne posude [18]

Zahtjevi	Ispitna skupina <sup>a</sup>						
	1		2		3		4
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	b j
Dopušteni materijali <sup>g</sup>	1 to 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Raspon KBR glavnih zavora <sup>e, h</sup>	100 %	100 %	100 % - 10% <sup>d</sup>	100 % - 10% <sup>d</sup>	25 %	10 %	0 %
KBR ostalih zavora	Označeno u tablici 13						
Koeficijent zavora	1	1	1	1	0,85	0,85	0,7
Maksimalna dozvoljena debljina materijala	Neograničena <sup>f</sup>	Neograničena <sup>f</sup>	30 mm za grupe 9.1, 9.2 16 mm za grupe 9.3, 8.2 i, 10	50 mm za grupe 1.1, 8.1 30 mm za grupu 1.2	30 mm za grupe 9.2, 9.1 16 mm za grupe 8.2, 10	50 mm za grupe 1.1, 8.1 30 mm za grupu 1.2	12 mm za grupe 1.1, 8.1
Postupak zavarivanja	Svi <sup>f</sup>	Svi <sup>f</sup>	Automatski proces zavarivanja <sup>c</sup>		Svi <sup>f</sup>	Svi <sup>f</sup>	Svi <sup>f</sup>
Radna temperatura	Neograničena <sup>f</sup>	Neograničena <sup>f</sup>	Neograničena <sup>f</sup>	Neograničena <sup>f</sup>	Neograničena <sup>f</sup>		Ograničena na (-10 to +200) °C za grupu 1.1 (-50 to +300) °C za grupu 8.1

<sup>a</sup> Sve skupine za ispitivanje zahtijevaju 100% vizualnu kontrolu

<sup>b</sup> Testna skupina 4 primjenjuje se samo za:

- Tekućine iz skupine 2; i
- Ps < 20 bar; i
- Ps · V ≤ 20 000 bar · L iznad 100 ° C; ili
- Ps · V ≤ 50 000 bar · L ako je temperatura jednaka ili manja od 100 ° C;
- Maksimalni broj najvećih dopuštenih dinamičkih ciklusa manji od 500;
- Niža razina nominalnog konstrukcijskog naprezanja (vidi EN 13445-3: 2009).

<sup>c</sup> Potpuno mehanizirani i / ili automatski proces zavarivanja (vidi EN 1418: 1997).

<sup>d</sup> Prva vrijednost za prvo ispitivanje, a druga vrijednost za ostala ispitivanja ukoliko prvo ispitivanje zadovoljava

<sup>e</sup> Pojediniosti o testiranju dane su u tablici 13

<sup>f</sup> Neograničeno znači da nema dodatnih ograničenja zbog testiranja. Ograničenja navedena u tablici su ograničenja nametnuta uslijed testiranja.

<sup>g</sup> Vidi EN 13445-2: 2009 za dopuštene materijale.

<sup>h</sup> Postotak se odnosi na postotak zavora svake pojedine posude

<sup>i</sup> Dopušteno je 30 mm za materijal skupine 8.2 ako se koristi dodatni materijal koji sadrži delta ferit

<sup>j</sup> Ograničeno na jednostruke posude i jednu skupinu materijala.

Kao opće pravilo, stupanj nerazornog ispitivanja, naveden kao postotna vrijednost, mora biti u skladu s tablicom 13 koja pokriva samo procese navedene u EN 13445-4: 2009. Ova postotna vrijednost odražava opseg nerazornog ispitivanja na ukupnoj duljini zavarenog spoja te uzima u obzir ispitnu skupinu i vrsta zavarivanja. [18]

Tablica 13 namijenjena je za zavarivanje čelika i obuhvaća sljedeće vrste zavara:

- višeslojni zavareni spojevi zavareni kao jednostrani ili obostrani zavareni spojevi;
- jednostrani obodni zavari s jednim prolazom
- zavarivanje s dodatnim materijalom

Posebni problemi proizlaze iz elemenata koji nisu opisani niti obuhvaćeni tablicom 13 i moraju se uzeti u obzir kod svih zavarenih spojeva, naročito kod glavnih uzdužnih zavarenih spojeva:

- jednostrani glavni zavar s jednim prolazom (maksimalna debljina materijala je 10 mm)
- spojevi između različitih materijala ili izvedeni različitim dodatnim materijalom

Za te zavare postotak nerazornih ispitivanja propisanih u tablici 13 mora se pomnožiti s 2, te ta vrijednost ne smije prelaziti 100%, niti biti manja od 25% za uzdužne i 10% za obodne zavare. Ako postoji promjena koja bi mogla utjecati na izvedbu postupka zavarivanja (npr. mijenjanje bakrene žice ili plina) dodatna kontrola bez razaranja se obavlja na početku tih zavara. [18]

U slučaju potrebnih ispitivanja manje od 100%, određuje se opseg i mjesto nerazornih ispitivanja prema sljedećim kriterijima. Odabrani spojevi moraju biti reprezentativni za sve zavarene spojeve na tlačnoj posudi.

A) za plašt, kape, komore i omotače

- nerazorna ispitivanja provode se na svim presjecima uzdužnih i obodnih spojeva. Minimalna ispitana duljina mora biti 200 mm. Ukoliko uključivanje svih presjeka prelazi dani postotak u tablici 13, tada se primjenjuje veća vrijednost
- ako je potrebno postizanje postotak danog u tablici 13, dodatna nasumično odabrana mjesta na zavarenom spoju moraju biti podvrgnuta nerazornom ispitivanju
- ako postoje otvori koji se nalaze unutar glavnih zavarenih spojeva (uzdužnih ili obodnih) ili unutar udaljenosti od 12 mm od glavnih zavara potrebno je ispitati duljinu zavara ne manju od promjera otvora. To se dodaje kao dodatak postotku u tablici 13, ako je primjenjivo.

B) za priključke (sapnice, cijevi...) pričvršćene na posudu (kutni zavari)

Da bi se odredio stupanj nerazornog ispitivanja, ukupni broj priključaka s kutnim zavarima s potpunom penetracijom grupirani su kako slijedi:

- 100% -tno nerazorno ispitivanje: veličina skupine je 1 (tj. svaki pojedinačni priključak)
- 25% -tno nerazorna ispitivanja: veličina skupine je 4 (tj. najmanje jedan kompletan priključak od njih 4);
- 10-tno nerazorno ispitivanje: veličina grupe je 10 (tj. najmanje jedan kompletan priključak od njih 10). [18]

Nakon toga potrebno je ispitati kompletni obodni i uzdužni zavari barem jednog priključka u svakoj grupi ili djelomičnoj skupini. Kada broja potpuno ispitanih sučeljenih obodnih i uzdužnih zavora priključaka prelazi postotak u tablici 13, tada se primjenjuje veća vrijednost. [18]

Za odabir nerazornih ispitnih metoda za površinske nepravilnosti za feritne čelike potrebno je koristiti magnetsku kontrolu, a za austenitne čelike penetrantsku kontrolu. [19]

Nerazorno ispitno osoblje mora biti kvalificirano i ovjereno u skladu s normom EN ISO 9712: Nerazorno ispitivanje -- Kvalifikacija i certifikacija NDT osoblja. Za vizualni pregledi osoblje mora biti kvalificirano, ali ne mora biti ovjereno. Nerazorno ispitno osoblje mora imati odgovarajući certifikat o stručnosti. Nerazorno ispitivanje se u svim ispitnim skupinama treba provesti nakon završetka postupka toplinske obrade nakon zavarivanja, ali prije tlačne probe. Ako materijal nije osjetljiv na pucanje, npr. materijali grupe 1.1 i 8.1, kontrola bez razaranja može provesti se prije toplinske obrade.

Tablica 13: Udio nerazornog ispitivanja ovisno o položaju i vrsti zavar a te o vrsti i debljini osnovnog materijala [18]

Vrsta zavar a, p			Kontrola b	Ispitne skupine						
				1a	1b	2a i	2b i	3a	3b	4
				Grupa osnovnog materijala l,m,n						
				1 do 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2,9.1,9.2, 9.3, 10	1.1,1.2 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Sučeljeni spoj s potpunom penetracijom	1	Uzdužni zavar	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	100 % 10 %	(100-10) % 10%	(100-10) % 10%d	25% 10%	10 % 10 % d	0 0
	2a	Obodni zavar na plaštu	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	25 % 100 %d	(100-10) % 10%d	(25-10) % 10%d	10 % 10 %	10 %c 10 % d	0 0
	2b	Obodni zavar na plaštu s podložnom pločicom k	RT ili UT MT ili PT	NA NA	100 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	0 0
	2c	Obodni preklopni zavar k	RT ili UT MT ili PT	NA NA	100 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	0 0
	3a	Obodni zavar na priključku $d_f > 150$ mm ili $e > 16$ mm	RT ili UT MT ili PT	100% 10%	25 % 10 %d	(100-10) % 10%	(25-10) % 10%d	10 % 10 %	10 %c 10 % d	0 0
	3b	Obodni zavar na priključku $d_f > 150$ mm ili $e > 16$ mm s podložnom pločicom k	RT ili UT MT ili PT	NA NA	100 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	NA NA	25 % 10 %	0 0
	4	Obodni zavar na priključku $d_f \leq 150$ mm and $e \leq 16$ mm $d_f \leq 150$ mm i $e \leq 16$ mm	RT ili UT MT ili PT	0 100%	0 10%	0 (100-10) %	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
	5	Svi zavar i na kapama	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	100 % 10 %d	(100-10) % 100%	(100-10) % 100%d	25 % 10 %	10 % 10 % d	0 0
	6	Spoj konusnog plašta s cilindričnim plaštom ( širi dio konusnog plašta) q, r	RT ili UT MT ili PT	100 % 100 %	25 % 100 %	(100-10) % 100%	(25-10) % 10%d	10 % 100 %	10 % 100 %	0 100%
	7	Spoj konusnog plašta s cilindričnim plaštom ( uži dio konusnog plašta)	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	25 % 100 %d	(100-10) % 10%	(25-10) % 10%d	10 % 10 %	10 % 10 %d	0 0
	8a	Spoj plašta i kape	RT ili UT MT ili PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 0
Obodni preklopni zavar k	8b	Spoj metalnog mijeha i plašta $e \leq 8$ mm	MT ili PT RT ili UT	100 % 0	100 % 0	100 % 0	25 % 0	25 % 0	10 % 0	0 0

Vrsta zavora a, p			Kontrola b	Ispitne skupine o						
				1a	1b	2a i	2b i	3a	3b	4
				Grupa osnovnog materijala l,m,n						
				1 to 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2,9.1,9.2, 9.3, 10	1.1,1.2 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Spoj ravne kape s cilindričnim plaštom Spoj priрубnice ili obruča s plaštom	9	S potpunom penetracijom	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	100 % 10 %d	(100-10) % 10%	(100-10) % 10%d	25 % 10 %	10% 10 %d	0 0
	10	S djelomičnom penetracijom ako je $a > 16 \text{ mm}^j$	RT ili UT MT ili PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	25 % 10 %	10% 10 %	0 0
	11	S djelomičnom penetracijom ako je $a \leq 16 \text{ mm}^j$	RT ili UT MT ili PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10 %	0 10 %	0 0
Spoj priрубnice ili obruča s priključkom	12	S potpunom penetracijom	RT ili UT MT ili PT	100 % 10 %	100 % 10 %d	(100-10) % 10%	(100-10) % 10%d	25 % 10 %	10% 10 %d	0 0
	13	S djelomičnom penetracijom j	RT ili UT MT ili PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10 %	0 10 %	0 0
	14	S potpunom i djelomičnom penetracijom $d_i \leq 150 \text{ mm}$ i $e \leq 16 \text{ mm}^j$	RT ili UT MT ili PT	0 10 %	0 10 %d	0 10 %	0 10 %d	0 (100-10) %	0 10 %	0 0
	15	S potpunom penetracijom $d_i > 150 \text{ mm}$ ili $e > 16 \text{ mm}$	RT ili UT MT or PT	100 % 10 %	25 % 10 %	(100-25) % 10%	(25-10) % 10%d	25 % 10 %	25 % 10 %d	0 0
Priključak e	16	S potpunom penetracijom $d_i \leq 150 \text{ mm}$ i $e \leq 16 \text{ mm}$ .	RT ili UT MT ili PT	0 100 %	0 10 %	0 (100-10) %	0 10 %	0 10 %	0 10 %	0 0
	17	S djelomičnom penetracijom za bilo koji $d_i$ $a > 16 \text{ mm}$	RT ili UT MT ili PT j	100 % 10 %	25 % 10 %d	(100-25) % 10%	(25-10) % 10%d	25 % 10 %	10% 10 %d	0 0
	18	S djelomičnom penetracijom $d_i > 150 \text{ mm}$ . $a \leq 16 \text{ mm}$ .	RT ili UT MT ili PT j	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10 %	0 10 %	0 0
	19	S djelomičnom penetracijom $d_i \leq 150 \text{ mm}$ . $a \leq 16 \text{ mm}$ .	RT ili UT MT ili PT j	0 100 %	0 100%	0 (100-10) %	0 10 %	0 10 %	0 10 %	0 0
Kraj cijevi s izmjenjivačem	20		MT ili PT	100 %	100 %	100 %	100 %	25 %	10 %	0 0
Pripojni zavari	21	S potpunom ili djelomičnom penetracijom	RT ili UT MT ili PT	25 %g 100 %	10%d 10 %	10% 100 %	10%d 10%	10% 100%	10%d 10%d	0 0



Vrsta zavora a, p			Kontrola b	Ispitne skupine o						
				1a	1b	2a i	2b i	3a	3b	4
				Grupa osnovnog materijala l,m,n						
				1 to 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2,9.1,9.2 , 9.3, 10	1.1,1.2 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Djelovanje tlaka na pojedina područja nakon uklanjanja privremenih pripoja	22		MT ili PT	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 0
Navarivanje h	23		MT ili PT	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 0
Popravci	24		RT ili UT MT ili PT	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 0
<sup>a</sup> Pogledati točku 6.6.2-3 <sup>b</sup> RT = Radiografska kontrola, UT = Ultrazvučna kontrola, MT = Magnetska kontrola, PT = Penetrantska kontrola <sup>c</sup> 2 % ako $e \leq 30$ mm i isti WPS kao za uzdužni, za grupu čelika 1.1 i 8.1 <sup>d</sup> 10 % ako $e > 30$ mm, 0 % ako $e \leq 30$ mm <sup>e</sup> ). Postotak u tablici odnosi se na ukupnu duljinu zavora svih priključaka <sup>f</sup> Neprimjenjuje se RT ili UT za debljinu zavora $\leq 16$ mm <sup>g</sup> 10 % za grupu čelika 8.2, 9.1, 9.2, 9.3 i 10 <sup>h</sup> Volumetrijsko ispitivanje ako postoji rizik od nastanka pukotina osnovnog materijala ili pukotina uslijed toplinske obrade <sup>i</sup> Za objašnjenje smanjenja KBR u skupini 2, vidi 6.6.1.2 <sup>j</sup> U iznimnim slučajevima ili kada je opterećenje na zavaru kritično, kontrola se može provoditi s dvije metode (RT i UT, MT i PT). <sup>k</sup> Za ograničenje primjene pogledati EN 13445-3:2009, 5.7.3.2. <sup>l</sup> Postotak površinskog ispitivanja odnosi se postotak duljine zavora s vanjske i unutarnje strane <sup>m</sup> RT i UT su volumetričke kontrole, a MT i PT površinske. Kada je navedeno u tablici, oba ispitivanja su neophodna u onoj mjeri u kojoj je prikazano <sup>n</sup> NA znači "vrsta zavora nije dopuštena" (vidi EN 13445-3:2009, Annex A) <sup>o</sup> U slučaju cikličkog opterećenja pogledati Annex G.2. <sup>p</sup> Annex A od EN 13445-3:2009 daje konstrukcijska ograničenja na zavaru <sup>q</sup> Osim ako je konstrukcija takva da debljina zavora premašuje $1,4 e_f$ (pogledati 7.6.6. iz EN 13445-3:2009). U tom slučaju koristiti NDT linije 2a <sup>r</sup> Za zglobni spoj, primijeniti liniju 2a										

## **8.2. Norma EN 12952: 2011- Vodocijevni kotlovi i pomoćne instalacije– 6. dio: Pregledi tijekom izrade, dokumentiranje i označavanje tlačnih dijelova kotlova**

### **Površinske metode za otkrivanje nepravilnosti [19]**

Za odabir nerazornih ispitnih metoda za površinske nepravilnosti preporučeno je na bubnju kotla koristiti magnetsku kontrolu, a na kapi i cijevima preporučeno je koristiti magnetsku kontrolu, a penetrantska kontrola može se koristiti na čelicima grupe 1 i grupe 8 i za zavare na tlačnim priključcima promjera  $\leq 80$  mm za čelike grupe 2 i 5. Grupe čelika određene su standardom ISO/TR 15608: Zavarivanje - Upute za sustav razvrstavanja metalnih materijala.

### **Volumetrijske metode za otkrivanje nepravilnosti [19]**

Za feritne čelike preferira se upotreba ultrazvučna kontrole u odnosu na radiografiju. Za čelike skupine 1 te za obodne zavare, promjera manjeg od 120 mm i debljine od 13 mm na čelicima skupine 5.1 i 5.2 potrebna nerazorna ispitivanja mogu se obaviti prije ili poslije toplinske obrade nakon zavarivanja. Za sve ostale materijale nerazorna ispitivanja provodit će se nakon toplinske obrade zavora.

Kada prema danim tablicama nerazorno ispitivanje obuhvaća 10% zavora, odabrani zavori za ispitivanje obuhvaćat će zavare od pojedinog zavarivača izvedenih prema danim specifikacijama za zavarivanje. Tada broj zavora za ispitivanje iznosi minimalno 10% zavora od pojedinog zavarivača. Nerazorna ispitivanja provesti će se na svim dijelovima kako je naznačeno u tablicama 14, 15, 16.

Tablica 14: Postotak nerazornih ispitivanja zavora na bubanju [19]

Vrsta zavora	Površinska ispitivanja <sup>a</sup>	Volumetrička ispitivanja	
		Radiografska kontrola	Ultrazvučna metoda
Uzdužni i obodni zavori	100% <sup>b</sup>	100% <sup>c</sup>	ili 100% <sup>c</sup>
Zavori na tlačnim dijelovima			
$e^d \geq 25$ mm (potpuna penetracija)	100%	-	100% <sup>e</sup>
$15 \text{ mm} \leq e^d < 25$ mm (potpuna penetracija)	100%	-	10% <sup>e</sup>
Ostali zavori, uključujući i brtvene zavora	10%	-	-
Pripojni zavori			
Opterećeni zavori	100%	-	-
Neopterećeni zavori	10%	-	-
<sup>a</sup> Magnetska kontrola <sup>b</sup> Za čelike skupine 1 i automatsko zavarivanje, ako je debljina $d_0 \leq 25$ mm: 10% plus kutni zavori (duljine veće od 250 mm) <sup>c</sup> za čelike skupine 4 dozvoljena je samo ultrazvučna metoda <sup>d</sup> $e$ je debljina materijala <sup>e</sup> Ultrazvučna metoda nije potrebna ako je $d_0 < 142$ mm			

Tablica 15: Postotak nerazornih ispitivanja zavora na kapi [19]

Vrsta zavora	Površinska ispitivanja <sup>a</sup>	Volumetrička ispitivanja	
		Radiografska kontrola	Ultrazvučna metoda
Uzdužni i obodni zavori	100% <sup>b</sup>	100% <sup>c</sup>	ili 100% <sup>c</sup>
Zavori na tlačnim dijelovima			
$e^d \geq 25$ mm (potpuna penetracija)	100% <sup>e</sup>	100% <sup>c f</sup>	ili 100% <sup>c f</sup>
$15 \text{ mm} \leq e^d < 25$ mm (potpuna penetracija)	100% <sup>e</sup>	10% <sup>c f</sup>	ili 10% <sup>c f</sup>
Ostali zavori, uključujući i brtvene zavora	10% <sup>g</sup>	-	-
Pripojni zavori			
Opterećeni zavori	100%	-	-
Neopterećeni zavori	10%	-	-
Zavori na kraju ploče	100%		100% <sup>h</sup>
<sup>a</sup> Magnetska kontrola, kontrola penetrantima dozvoljena je za čelike skupine 1 i 8 <sup>b</sup> Za čelike skupine 1 i 8 debljine $d_0 \leq 25$ mm: 10% od obodnih zavora <sup>c</sup> Za čelike skupine 4 i 6 dozvoljena je samo ultrazvučna metoda <sup>d</sup> $e$ je debljina materijala <sup>e</sup> 10% za čelike skupine 1 i 8 <sup>f</sup> Volumetrička kontrola nije potrebna ako je $d_0 < 142$ mm <sup>g</sup> Prihvatljiva je kontrola penetrantima za tubs stubs za čelike skupine 2 i 5 promjera $e \leq 80$ mm <sup>h</sup> Samo za vanjski promjer $e > 70$ mm i za rubove ploče debljine $d_0 > 8$ mm			

Tablica 16: Postotak nerazornih ispitivanja cijevnih zavara [19]

Vrsta zavara	Površinska ispitivanja <sup>a</sup>	Volumetrička ispitivanja	
		Radiografska kontrola	Ultrazvučna metoda
Obodni zavari			
$e > 25 \text{ mm}$ ili $d_0 > 142 \text{ mm}$	100 %	100 % <sup>b c</sup>	ili 100 % <sup>b</sup>
Ostali zavari	-	10 % <sup>c</sup>	ili 10 %
Zavari na tlačnim dijelovima			
$e^d \geq 25 \text{ mm}$ (potpuna penetracija)	100 % <sup>b</sup>	100 % <sup>c e f</sup>	ili 100 % <sup>e f</sup>
$15 \text{ mm} \leq e^d < 25 \text{ mm}$ (potpuna penetracija)	100 % <sup>b</sup>	100 % <sup>c e f</sup>	ili 100 % <sup>e f</sup>
Ostali zavari	10 %	-	-
Pripojni zavari			
Opterećeni zavari	100 %	-	-
Neopterećeni zavari	100 %	-	-
Zavari na hladnjacima na panelima	g	-	-
<sup>a</sup> Magnetska kontrola, kontrola penetrantima dozvoljena je za čelike skupine 1 i 8 <sup>b</sup> 10 % za čelike skupine 1 i 8 <sup>c</sup> Za vanjski promjer čelika veći od 80 mm skupine čelika 4 i 8, samo ultrazvučna metoda je dozvoljena <sup>d</sup> e je debljina materijala <sup>e</sup> Dozvoljena je radiografska metoda kada ultrazvučna metoda nije dostupna <sup>f</sup> Volumetrička kontrola nije potrebna ako je $d_0 < 142 \text{ mm}$ <sup>g</sup> Ograničeno na 100 % vizualnu kontrolu			

## 9. TLAČNA PROBA

Završno ocjenjivanje tlačne opreme uključuje ispitivanje otpornosti na tlak, što je obično hidrostatska tlačna proba. Za serijski proizvedenu tlačnu opremu iz kategorije I., to se ispitivanje može provoditi na statističkoj osnovi. Ako je hidrostatska tlačna proba štetna ili nepraktična, mogu se primijeniti druga priznata ispitivanja. Kada se provode ispitivanja otpornosti na tlak koja nisu hidrostatska tlačna proba, prije njihove provedbe primjenjuju se dodatne provjere kao ispitivanja bez razaranja ili druge jednako važeće metode.

Za vrijeme tlačenja oprema se pregledava s obzirom na moguće pojave pukotina, curenja, deformacija. Oprema pod ispitnim tlakom ne smije biti manje od 10 minuta. Nakon završenog ispitivanja tlakom oprema se pregledava s obzirom na vidljive promjene oblika.

Ispitni se tlak određuje prema tlaku na koji je podešen sigurnosni ventil na tlačnoj opremi ili sklopu. Ispitivanje tlakom mora se provesti ukoliko rezultati vanjskog i unutarnjeg pregleda opreme pod tlakom ne omogućavaju zadovoljavajuću sigurnosno tehničku ocjenu. Ispitivanje tlakom može se zamijeniti drugim ispitivanjima bez razaranja materijala, o čemu odluku donosi isključivo OPT-AGENCIJA. Odluka mora biti dokumentirana i ne može biti trajna zamjena za ispitivanje tlakom. [14]

Prilikom hidrostatske tlačne probe posuda velikih dimenzija i tankih stijenka mora biti poduprena i učvršćena kako ne bi došlo do dodatnih deformacija uslijed težine vode koja se nalazi u posudi. Ispitivanje se mora izvoditi na temperaturi okoline iznad +5 °C po mogućnosti sa što manjim oscilacijama tijekom ispitivanja. Voda korištena za hidrostatsku probu ne smije biti temperature niže od okolišne kako ne bi došlo do rošenja vanjske stijenske posude.

Hidrostatski ispitni tlak ne smije biti manji od:

- tlaka koji odgovara maksimalnom opterećenju kojem je tlačna oprema podvrgnuta u radu, uzimajući u obzir najveći dopušteni tlak i najveću dopuštenu temperaturu, pomnožene s koeficijentom 1,25
- najvećeg dopuštenog tlaka pomnoženog s koeficijentom 1,43 [1]

U toku punjenja sistema do predviđenog ispitnog tlaka periodički je potrebno provoditi odzračivanje (na svim raspoloživim odušcima) da bi se spriječilo pojavljivanje zračnih džepova. Očitavanje tlaka (položaj instalacije ispitnog manometra) mora biti na najvišoj točki posude. Provedba ispitivanja se izvodi vizualnom metodom ispitivanja s tim da će svi spojevi kako zavareni tako i rastavljivi biti pristupačni vizualnom pregledu tijekom ispitivanja. Nakon uspješne probe iz posude je obavezno ispustiti vodu, te provjeriti kružnost i centriranost stijenki posude.

U slučaju da nije moguće izvršiti hidrostatsku tlačnu probu izvršava se tlačna proba zrakom ili nekim drugim prihvatljivim plinom. Razlozi zbog kojih nije moguće izvršiti hidrostatsku tlačnu probu [4]:

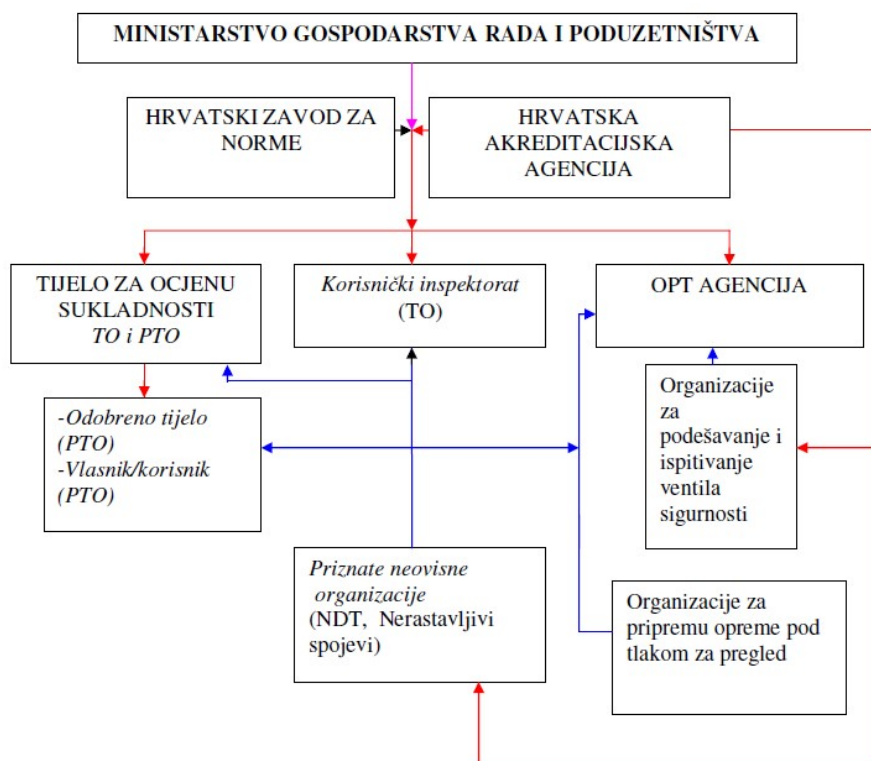
- posuda se ne može napuniti vodom ili podnijeti težinu vode
- posuda se ne može u potpunosti isprazniti nakon testiranja
- hidrostatska tlačna proba može dovesti do oštećenja unutrašnjosti posude
- kada se koristi u sustavima gdje i najmanja količina kapljevine ne smije biti prisutna

Nakon provedbe tlačne probe nije dozvoljeno naknadno zavarivanje, kao i naravno za vrijeme ispitivanja u slučaju otklanjanja nedostataka. Tlačna proba može se provoditi ukoliko je na posuda posudu nanijet antikorozivni zaštitni premaz, ali preporučljivo je zavarene spojeve ostaviti nezaštićene otprilike 3 cm sa svake strane zavara kako bi se mogle uočiti nastale nepravilnosti i pukotine u zavarenom spoju. [4]

## 10. POSTUPAK OCJENJIVANJA SUKLADNOSTI

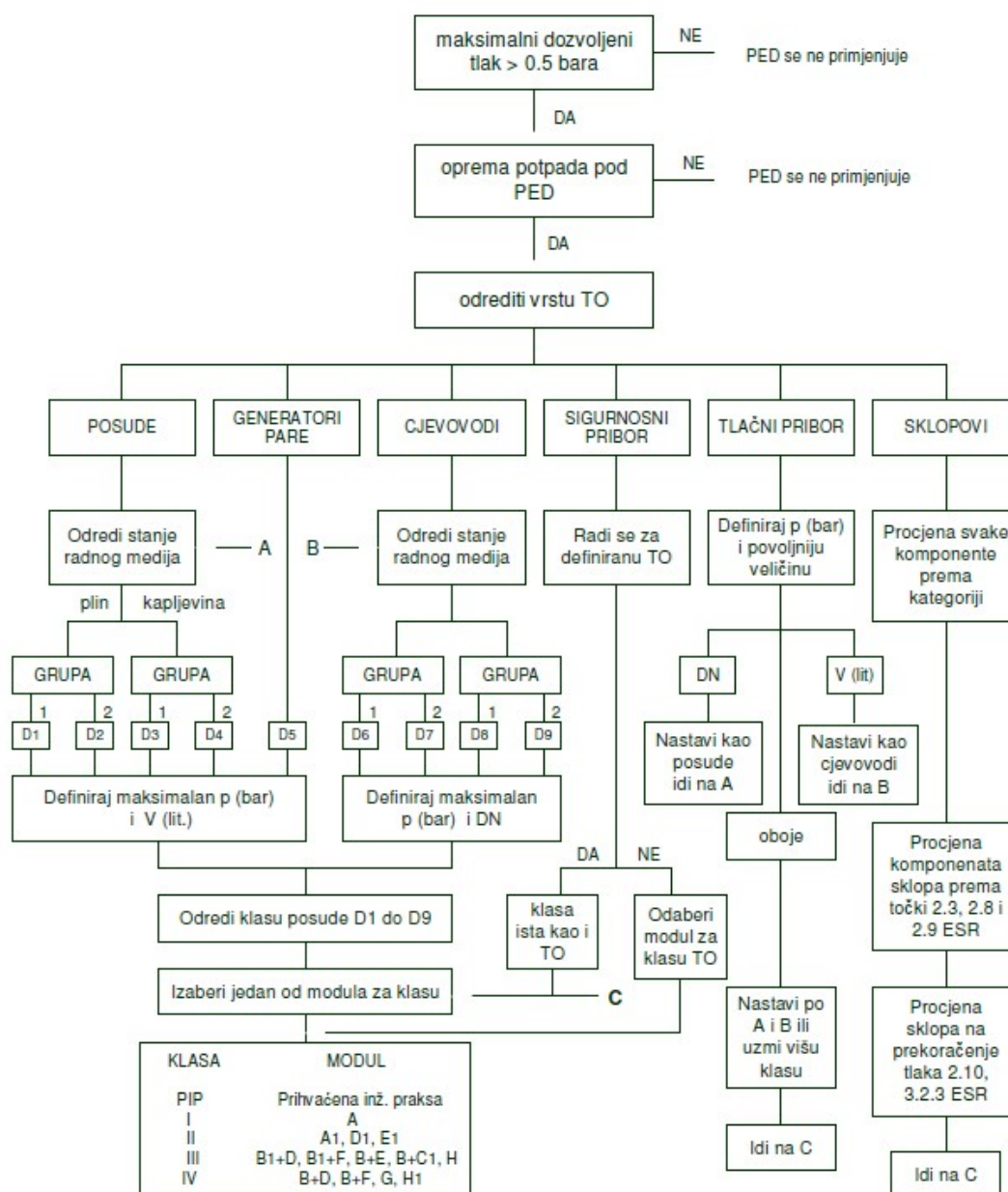
U procesu konstruiranja tlačne opreme sigurnost je primarna briga. Zato je prije puštanja spremnika u rad, potrebno je provesti postupak ocjenjivanja sukladnosti. Postupci ocjenjivanja sukladnosti koji se primjenjuju na element tlačne opreme moraju se utvrditi prema kategoriji u koju je oprema klasificirana.

Cilj postupka je osigurati da tlačna oprema bude u skladu sa svim bitnim zahtjevima europskih direktiva. Ocjenu sukladnosti može provoditi ovlašteno tijelo za ocjenu sukladnosti ili ovlaštenu korisnički inspektorat. Ocjenjivanje sukladnosti proizvoda je svaka radnja koja se odnosi na izravno ili neizravno utvrđivanje jesu li ispunjeni odgovarajući tehnički zahtjevi za proizvode. Na slici 9 prikazani su sudionici u procesu priznavanja, pregleda i ispitivanja opreme pod tlakom



Slika 9: Sudionici u procesu priznavanja, pregleda i ispitivanja opreme pod tlakom [2]

Proizvođač bira način ocjene sukladnosti u ovisnosti o tome ima li uveden sustav osiguravanja kvalitete ili ne. Sustav kvalitete mora udovoljavati zahtjevima pravilnika te to provjerava tijelo ovlašteno za postupak ocjene sukladnosti. Na slici 10 prikazan je postupak ocjene sukladnosti.



Slika 10: Prikaz postupka ocjene sukladnosti za tlačnu opremu [2]



Postupci ocjene sukladnosti opisani su u Dodatku II Pravilnika o tlačnim posudama putem modula. Ovisno o kategoriji opreme primjenjuje se odgovarajući modul ili njihova kombinacija prema izboru proizvođača. Svaki modul opisuje postupak ocjene sukladnosti kojeg provode tijela za ocjenu sukladnosti. Modulima su potanko opisane i nabrojene procedure po kojima se izdaje certifikat o sukladnosti i popisana dokumentacija koja mora biti na raspolaganju tijelu za ocjenu sukladnosti te je određeno na koji se način i u kojem opsegu ta dokumentacija mora čuvati.

Ako tijekom ocjenjivanja iz prvog stavka ovoga članka nadležno inspekcijsko tijelo utvrdi da tlačna oprema ili sklopovi nisu u skladu sa zahtjevima ovoga Pravilnika, ono će bez odgode zahtijevati da odgovarajući gospodarski subjekt provede sve odgovarajuće popravne radnje kako bi tlačnu opremu ili sklop uskladio s tim zahtjevima, povukao posudu s tržišta ili je opozvao u razumnom roku, o čemu odlučuju s obzirom na vrstu rizika. Nadležno inspekcijsko tijelo o tome obavještava odgovarajuće prijavljeno tijelo. [1]

Pregled modula po pripadnosti pojedinim kategorijama opreme s kratkim opisom namjene modula prikazano je tablicom 17.

Tablica 17: Moduli za ocjenu sukladnosti [1]

Klasa posude	Modul koji se primjenjuje
I	A
II	A1, D1 ili E1
III	B1+D, B1+F, B+E, B+C1 ili H
IV	B+D, B+F, G ili H1

Oprema klase IV predstavlja tlačnu opremu najvećeg rizika. Kategorija opreme pod tlakom određuje se prema Dodatku II Pravilnika o tlačnim posudama – Dijagrami za ocjenu sukladnosti pravilnika o tlačnoj opremi. Odgovarajući dijagram za posude ili cjevovode mora se upotrebljavati za određivanje kategorije za ocjenjivanje sukladnosti. Kada su i obujam i nazivni promjer primjereni drugoj alineji točke na grafu, tlačni se pribor mora klasificirati prema onom dijagramu koji ga svrstava u višu kategoriju. U tablici 18 prikazani su moduli za ocjenu sukladnosti.

Tablica 18: Moduli za ocjenu sukladnosti [1]

A	Unutarnja kontrola proizvodnje
A1	Unutarnja kontrola proizvodnje uz nadzirane provjere tlačne opreme u nasumično odabranim vremenskim razmacima
B	Eu-pregled tipa
C2	Sukladnost s tipom na temelju unutarnje kontrole proizvodnje i nadziranih provjera tlačne opreme u nasumično odabranim vremenskim razmacima
D	Sukladnost s tipom na temelju osiguranja kvalitete proizvodnog postupka
D1	Osiguranje kvalitete proizvodnog postupka
E	Sukladnost s tipom na temelju osiguranja kvalitete tlačne opreme
E1	Osiguranje kvalitete završne inspekcije i ispitivanja tlačne opreme
F	Sukladnost s tipom na temelju provjere tlačne opreme
G	Sukladnost na temelju pojedinačne provjere
H	Sukladnost temeljena na potpunom osiguravanju kvalitete
H1	Sukladnost na temelju potpunog osiguranja kvalitete s pregledom konstrukcije

Oznaka sukladnosti mora se postaviti na vidljivo mjesto te mora biti čitljiva i neizbrisiva.

Podaci koji moraju biti na pločici su:

- Proizvođač
- Radni tlak
- Radna temperatura
- Godina proizvodnje
- Tvornički broj
- Volumen
- Ispitni tlak

U uputama je prema Pravilniku potrebno, uz podatke navedene na pločici s tehničkim podacima, dati postupak montaže, puštanja u rad, održavanja. Nakon ocjene sukladnosti, na tlačnu opremu stavlja se oznaka CE, a proizvođač izdaje izjavu o sukladnosti. Pojedini modul se odabire ovisno o tome ima li proizvođač vlastiti sustav kvalitete.

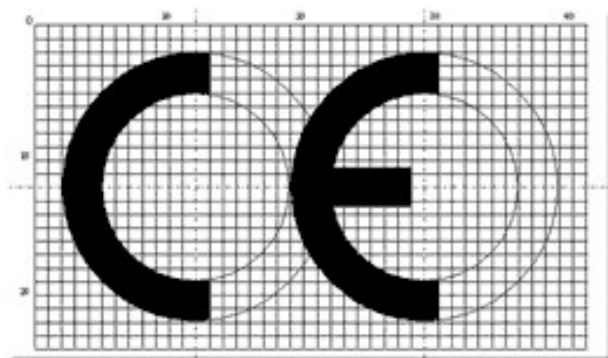
### 10.1. CE oznaka

CE oznaka je skraćenica od "Conformité Européenne" (*engl.* European Conformity) i predstavlja oznaku proizvođača da je proizvod sukladan sa smjernicama EU i odgovarajućim Europskim normama na koje se pozivaju smjernice. Oznakom CE dokazuje se da je proizvod ocijenjen i da ispunjava sve zahtjeve EU-a u području sigurnosti, zdravlja i okoliša. Ona vrijedi za proizvode koji su proizvedeni na području EGP-a (Europski gospodarski prostor) i izvan njega, a koji se zatim stavljaju na tržište na području EGP-a.

Kako bi se na proizvod stavila oznaka CE, potrebno je sastaviti tehničku dokumentaciju kojom se dokazuje da proizvod ispunjava sve zahtjeve na razini EU-a. Proizvođač proizvoda snosi isključivu odgovornost za izjavu o sukladnosti sa svim zahtjevima.

Korištenje normama je na dobrovoljnoj osnovi i nije obvezno koristiti se njima. Moguće je odabrati i druga tehnička rješenja kako bi se ispunili osnovni zahtjevi utvrđeni u odgovarajućoj direktivi EU-a. Za opremu koja se konstruira prema inozemnim propisima (ASME, AD-Merkblätter i sl.) dio projektne dokumentacije je i kontrolni proračun kojim se potvrđuje da posuda zadovoljava zahtjeve hrvatskih propisa i normi. Posebna tijela za ocjenu sukladnosti („prijavljena tijela“) moraju provjeriti sukladnost određenih proizvoda s posebnim tehničkim zahtjevima. [20]

CE oznaka, slika 11, mora biti vidljiva, čitljiva i neizbrisiva. Ako je bilo potrebno sudjelovanje prijavljenog tijela, na proizvod je potrebno staviti i identifikacijski broj tog tijela. Isto tako potrebno je sastaviti i potpisati izjavu EU-a o sukladnosti u kojoj se navodi da proizvod ispunjava sve pravne zahtjeve.



Slika 11: CE oznaka [20]

## 11. EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu rada provesti će se analiza sustava osiguranja kvalitete na realnom proizvodu, tlačnoj posudi naziva ED-241 izrađene u tvrtki MONTER – Strojarske montaže d.d., te će se navesti ključni elementi koji predstavljaju najveći rizik za kvalitetu proizvoda na temelju proizvodne dokumentacije i izvješća ispitivanja.

MONTER-SM d.d. osnovan je 1948. godine. Specijaliziran je za izgradnju industrijskih postrojenja nafte i plina, kemije, petrokemije, montažu svih vrsta cjevovoda, izgradnju čeličnih konstrukcija, posuda pod tlakom itd. Sustav upravljanja kvalitetom predstavlja cjelovit i sveobuhvatan program koji se temelji na certifikatima ISO 9001:2008- Sustav upravljanja kvalitetom i ISO 29001:2010: Industrija nafte, petrokemije i prirodnog plina-- Područje- posebni sustavi upravljanja kvalitetom-- Zahtjevi za organizacije koje isporučuju proizvode i usluge certifikatima, a u skladu s čijom se primjenom jamči da svi proizvodi i usluge u potpunosti udovoljavaju propisanim i/ili potrebnim zahtjevima kvalitete. Tvrtka posvećuje izniman oprez ispunjavanju svih relevantnih standarda i mjera za osiguravanje najviše razine sigurnosti, kako za svoje osoblje, tako i za okoliš. Sustav upravljanja okolišem je implementiran i certificiran u skladu s ISO 14001:2004- Upravljanje okolišem, dok je zaštita na radu certificirana u skladu s OHSAS 18001:2004- Sustav upravljanja zaštitom na radu i zdravljem zaposlenika. Na temelju toga dobiveno je uvjerenje o sposobnosti tvrtke za izvođenje radova.

Zavarivačke radove Monter-SM izvodi u skladu sa sljedećim standardima: ISO 3843-2: Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala-- 2. dio: Sveobuhvatni zahtjevi za kvalitetu (po IIW (*eng.* International Institute of Welding (Fakultet strojarstva i brodogradnje)), TÜV Nord (PED) te je certificiran u skladu s AD 2000 HPO (TÜV Nord).

Na temelju Tijela za ocjenu sukladnosti opreme pod tlakom, TPK-ZAVOD d.d., proizvođač je dokazao da posjeduje iskustvo za pojedinačnu ovjeru u skladu s Pravilnikom o tlačnoj opremi (NN 20/15) i direktivom 97/23/EZ (PED) ta da zadovoljava zahtjeve za kvalitetu prema:

- RH Pravilnik o tlačnoj opremi (NN 20/15)
- PED 97/23 EZ
- HRN EN ISO 3834-2

Na temelju toga dobiven je certifikat za područje aktivnosti: Izrada i montaža cjevovoda, posuda pod tlakom kategorije II, III, IV prema području pokrivanja iz ispitnog sadržaja.

### 11.1. Tehnički opis

Posuda ED-241 (slika 12) cilindrična je posuda s dvije podnice. Cilindrični plašt je izrađen od bešavne cijevi i zavaren na standardnu DIN 28011 podnicu gore i dolje. Posuda sadrži priključak za ulaz/izlaz fluida, te priključak za nadopunjavanje dušikom.

Oprema ima sljedeće karakteristike:

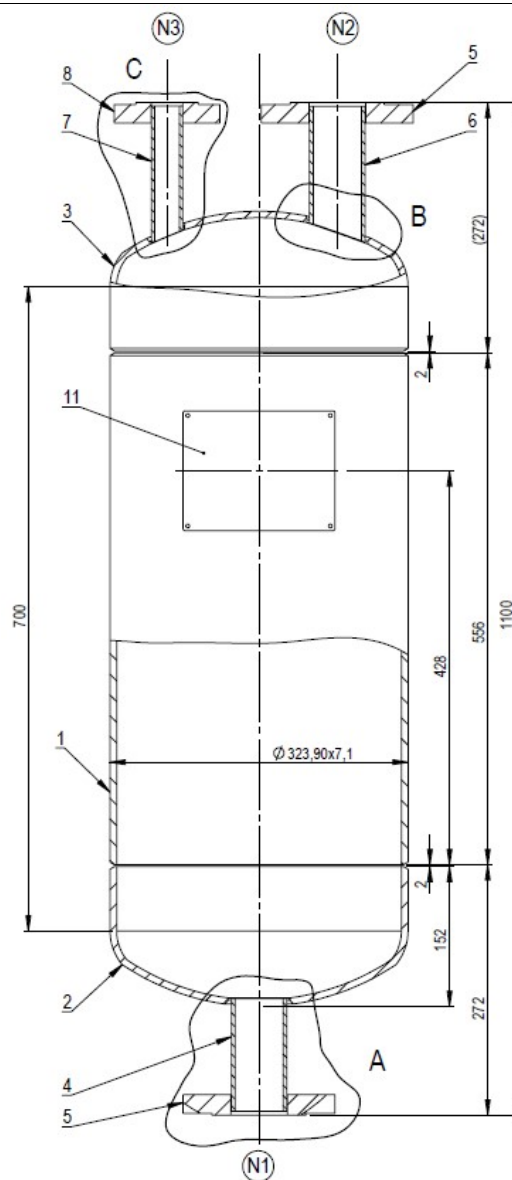
- Dijelovi opreme su spojeni vijcima ili zavarima
- Maksimalni dozvoljeni radni tlak :  $PS=0,6 \text{ MPa}$
- Projektna temperatura (min/max) :  $TS= -20/170^{\circ}\text{C}$
- Volumen spremnika:  $V=52 \text{ L}$

#### Projektni podaci

Posuda je projektirana, izrađena, ispitana i testirana u skladu s normom HRN EN 13445: 2015--Neložene tlačne posude - 3. dio: Projektiranje te Pravilnikom o tlačnoj opremi TO, N.N. 20/15. Proizvođač garantira da standardi, Pravilnik i norme upotrijebljeni prilikom projektiranja i izrade osiguravaju pouzdanu upotrebu posude pri projektnim i radnim uvjetima navedenim u konstrukcijskim parametrima kao i u odgovarajućem mehaničkom proračunu. U tablici 19 navedeni su projektni podaci za posudu ED-241.

Tablica 19: Projektni podaci [21]

Projektni tlak	0,6 MPa		
Ispitni tlak	0,9 MPa		
Projektna temperatura	-20/170°C		
Radni medij	Voda/Glikol/Dušik		
Položaj posude tijekom rada / tlačne probe	Vertikalno / Vertikalno		
Ispitni medij	Voda		
Gustoća ispitnog medija	1000 kg/m <sup>3</sup>		
Dodatak na koroziju	2 mm		
Težina tlačne posude	Prazna	Tlačna proba	Radna težina
	64 kg	116 kg	100 kg
MODUL prema NN 20/15:	Modul G		
Opterećenje vjetrom	-		
Toplinska obrada	NE		
Zona potresa	-		
Toplinska izolacija	NE		
Koeficijenta zavara plašta i kape	0,85		
Koeficijenta zavara plašta i priključka	0,85		
Tip zavara	Test grupa 3b prema HRN EN 13445-3		
Antikorozivna zaštita	Priprema površine: Pjeskarenje S 2 ½ prema ISO 8501-1 Primarni premaz: epoksi premaz 80 mikrona Završni premaz: epoksi pol. 120 mikrona/RAL 9002		



Slika 12: Tlačna posuda ED-241 [21]

Materijali za tlačnu opremu moraju zadovoljavati ispitivanja i radne parametre. Korišteni materijali odabrani su prema normi HRN EN 13445-2:2014- Neložene tlačne posude -- 2. dio: Materijali i Pravilniku o TO (NN20/15). Materijali moraju zadovoljiti zahtjevima pri proračunu te moraju biti potvrđeni odgovarajućim certifikatima i atestima koji se traže za kategoriju opreme IV. Svaka cijev i ugradbeni element moraju biti sljedivi. Na nacrtu ili na posebnom obrascu treba biti upisan broj šarže i broj certifikata.



U tablici 20 navedene su dimenzije dijelova tlačne posude te su prikazani korišteni materijali za izradu i norma po kojoj su odabrani.

Tablica 20: Dimenzije tlačne posude i lista materijala [21]

Poz.	Naziv	Količina	Standard	Materijal	MTR CERT EN 10204	Dimenzije (mm)	Težina (kg)
1	Cijev DN300	1	EN 10216-2	P235GH	3.1	Ø323,9 x 556 x 7,1	30.76
2	Kapa donja	1	DIN 2617	P235GH	3.1	Ø323,9 x 7,1	9.71
3	Kapa gornja	1	DIN 2617	P235GH	3.1	Ø323,9 x 7,1	9.63
4	Cijev 2" Sch.40	1	ASME B36.10M	SA106(M) Gr.B	3.1	Ø60,3 x 123 x 3,91	0.67
5	Prirubnica prema DN50 PN16	2		P235GH	3.1	Ø165 x 22	2.82
6	Cijev 2" Sch.40	1		SA106(M) Gr.B	3.1	Ø60,3 x 148 x 3,91	0.75
7	Cijev 1" Sch.40	1	ASME B36.10M	SA106(M) Gr.B	3.1	Ø33,4 x 149,5 x 3,38	0.36
8	Prirubnica prema DN25 PN16		ASME B36.10M	P235GH	3.1	Ø115 x 22	1.43
9	Lim	1		P235GH	3.1	130 x 50 x 4	0.30
10	Lim	1		P235GH	3.1	165 x 130 x 4	0.67
11	Natpisna pločica	1		AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS)	2.2.	165 x 130 x 2	0.34

## 11.2. Odobrenje tijela za ocjenu sukladnosti

Prije izvođenja radova na posudi potrebno je detaljno pregledati projektnu dokumentaciju i na nju staviti eventualne primjedbe. Ukoliko se pronađu nepravilnosti na to treba upozoriti projektanta. Projektna dokumentacija se u dva istovrsna primjerka dostavlja tijelu za ocjenu sukladnosti na odobrenje za konstrukciju i odobrenje za izradu.

Početak izrade uvjetovan je prethodno dobivenim rješenjem o odobrenju za konstrukciju odnosno izradu, od strane tijela za ocjenu sukladnosti.

Plan o odobrenju za izradu od tijela za ocjenu sukladnosti, proizvođač dobije na temelju elaborata za izradu, priložene projektne dokumentacije te priloženih:

- a) Izvadak iz sudskog registra
- b) Uvjerenje o sposobnosti tvrtke za izvođenje zavarivačkih radova
- c) Popis odgovornih osoba
- d) Specifikacija postupka zavarivanja
- e) Atest o izvršenoj kvalifikaciji postupka
- f) Plan (tehnologija) kontrole

Kategorija posude odabrana je prema Pravilniku o tlačnoj opremi NN20/15. Kategorija opreme pod tlakom određuje se prema Dijagramu 2. Dodatka II. Pravilnika o tlačnoj opremi. Posuda sadrži radni medij: voda /glikol/ dušik, koji spada u fluide Grupe 2 i volumena većeg od 1 L te umnoška  $PS$  i  $V$  većeg od  $50 \text{ bar} \times L$  ili tlaka  $PS$  većeg od 1000 bar.

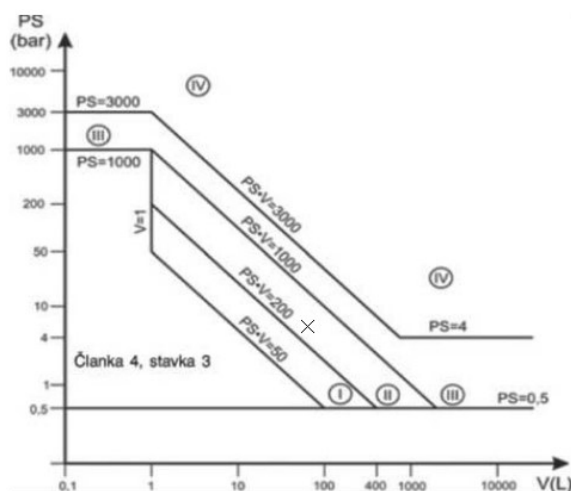
Maksimalni radni tlak  $PS=6 \text{ bar}$

Promjer posude:  $\varnothing 323,9$

Volumen spremnika  $V=52 \text{ l}$

Akumulirana energija :  $PS \cdot V = 6 \text{ bar} \cdot 52 \text{ l} = 312 \text{ bar} \cdot \text{l}$  (11.2.)

Na temelju akumulirane energije određeno je da tlačna posuda ED—241 spada u kategoriju II, kako je i prikazano na slici 13.



Slika 13: Dijagram određivanja kategorije tlačne opreme [2]

Proizvođač bira način ocjene sukladnosti u ovisnosti o tome imali uveden sustav osiguravanja kvalitete ili ne. Pri tome sustav kvalitete mora udovoljavati zahtjevima pravilnika, što će provjeriti tijelo ovlašteno za postupak ocjene sukladnosti. Modulima su potanko opisane i nabrojene procedure po kojima se izdaje certifikat o sukladnosti i popisana dokumentacija koja mora biti na raspolaganju tijelu za ocjenu sukladnosti. Za ocjenu sukladnosti odabran je Modul G.

### Modul G: sukladnost na temelju pojedinačne provjere [1]

Sukladnost temeljena na pojedinačnoj provjeri jest postupak za ocjenjivanje sukladnosti kojim proizvođač ispunjava obveze vezane uz konstruiranje, odabir materijala, proizvodnju i rizike od predgrijavanja te osigurava i na vlastitu odgovornost izjavljuje da je dotična tlačna oprema, sukladna sa zahtjevima iz Pravilnika koji se na nju primjenjuju.

Proizvođač izrađuje tehničku dokumentaciju koja mora omogućiti ocjenjivanje sukladnosti tlačne opreme s relevantnim zahtjevima te uključuje odgovarajuću analizu i procjenu rizika. Tehnička dokumentacija navodi primjenjive zahtjeve i sadrži, koliko je to potrebno za ocjenjivanje, konstrukciju, proizvodnju i način rada tlačne opreme.

Tehnička dokumentacija, kad god je to primjenjivo, sadrži najmanje sljedeće elemente:

- opći opis tlačne opreme
- idejno rješenje i crteže za proizvodnju te crteže dijelova, podsklopova, povezivanja itd.
- opise i objašnjenja koji su potrebni za razumijevanje tih crteža te načina rada tlačne opreme
- popis usklađenih norma na koje su upućivanja objavljena u Službenom listu Europske unije, koji se u potpunosti ili djelomično primjenjuju te opis rješenja donesenih kako bi se ispunili osnovni sigurnosni zahtjevi ovoga Pravilnika kada ti usklađene norme nisu primijenjene. U slučaju djelomične primjene usklađenih norma u tehničkoj dokumentaciji navode se dijelovi koji su primijenjeni;
- rezultate provedenih proračuna, provedenih pregleda itd.
- ispitna izvješća
- odgovarajuće detalje u vezi s odobrenjem postupaka proizvodnje i ispitivanja te kvalifikacije i odobrenja za dotične djelatnike u skladu s točkama 3.1.2. i 3.1.3. Dodatka I.

Prijavljeno tijelo koje je izabrao proizvođač provodi ili daje provesti odgovarajuće preglede i ispitivanja predviđene usklađenim normama i/ili jednako vrijedna ispitivanja, radi provjere sukladnosti tlačne opreme s primjenjivim zahtjevima Pravilnika o tlačnoj opremi. Ako ne postoji takva usklađena norma prijavljeno tijelo odlučuje o provođenju odgovarajućih ispitivanja primjenjujući druge tehničke specifikacije.

Prijavljeno tijelo posebno:

- pregledava tehničku dokumentaciju što se tiče konstrukcije i proizvodnih postupaka;
- ocjenjuje korištene materijale kada oni nisu u skladu s odgovarajućim usklađenim normama ili s europskim odobrenjem za materijale za tlačnu opremu te provjerava certifikate koje je izdao proizvođač
- odobrava postupke za nerastavljive spojeve dijelova tlačne opreme ili provjerava jesu li oni prethodno odobreni prema Pravilniku
- provjerava kvalifikacije i odobrenja vezanih za nerastavljive spojeve i ispitivanja bez razaranja
- provodi završnu inspekciju iz obavlja ili daje obaviti probna ispitivanja na temelju tlačne probe te pregledava sigurnosne uređaje.

Prijavljeno tijelo izdaje certifikat o sukladnosti u vezi s provedenim pregledima i ispitivanjima te stavlja svoj identifikacijski broj na odobrenu tlačnu opremu ili daje da se taj broj stavi pod njegovom odgovornošću.

### 11.3. Bitni sigurnosni zahtjevi

Kako bi proizvođač ustanovio ispunjenje zahtjeva sukladno predmetnoj normi po kojoj je konstruirana tlačna posuda te zahtjevima tehničke regulative tj. Pravilniku o tlačnoj opremi, izrađena je analiza sigurnosti u kojoj su svi sigurnosni zahtjevi potkrijepljeni sukladnošću s Pravilnikom te proizvodnoj normi. U tablici 21 dani je popis sigurnosnih zahtjeva.

Tablica 21: Usklađenost s predmetnom normom i tehničkom regulativom [21]

Br.	Bitni sigurnosni zahtjevi	Sukladnost s Pravilnikom o tlačnoj opremi
1	<b>Opća pravila</b>	
1.1	Tlačna oprema je konstruirana tako da osigurava sigurnost kod postavljanja, korištenja i održavanja u skladu s uputama proizvođača.	Posuda je konstruirana prema dokumentaciji u skladu s normom HRN EN 13445-3:2015 te Pravilnikom za TO, N.N. 20/15
1.2	Proizvođač mora eliminirati ili smanjiti opasnosti, primijeniti odgovarajuće zaštitne mjere i informirati korisnika o mogućim opasnostima.	Posuda je konstruirana sukladno hrvatskoj regulativi, izvršena analiza rizika
1.3	Oprema mora biti konstruirana kako bi se spriječile opasnosti koje mogu nastati radi nepravilne uporabe.	Upute za rad navedene su u dokumentaciji
2.	<b>Konstrukcija</b>	
2.1	Tlačna oprema mora biti konstruirana tako da su uzeti u obzir svi relevantni faktori sigurnosti kako bi ona bila sigurna u svom životnom vijeku	Oprema je konstruirana s faktorima sigurnosti koje obavezuje Pravilnik i HRN EN 13445-3:2014
2.2 2.2.1	Tlačna oprema mora biti konstruirana za sva opterećenja koja se mogu predvidjeti u radu:  Unutarnji/vanjski tlak Radne temperature i temp. okoline Statička opterećenja od vlastite težine i opterećenja kod tlačne probe Transport, vjetar, potres Reakcije podloge Korozije Nestabilnost fluida	Projektni tlakovi i temperature definirane su prema odgovarajućim tehničkim specifikacijama. U proračunu su kontrolirana naprezanja od unutarnjeg tlaka, vlastite težine i opterećenja kod tlačne probe.. Dodatak na koroziju u dokumentaciji je navedeno 2 mm
2.2.2	Konstrukcija na odgovarajuću čvrstoću mora se bazirati na proračunu i po potrebi eksperimentu	Proračun je rađen prema HRN EN 13445-3:2014.

2.2.3	Proračun putem formula	Formule dane u poglavljima primijenjenih tehničkih specifikacija
2.2.4	Eksperiment	Nije potreban, formule su opće prihvaćene
2.3	Mjere za sigurno rukovanje i rad	Navedene upute za montažu, korištenje i održavanje
2.4	Pregledi i ispitivanja Oprema mora biti konstruirana tako da se omoguće unutrašnji i vanjski pogledi	Navedeno u dokumentaciji.
2.5	Drenaža i odzračivanje	Navedeno u nacrtu
2.6	Korozija i kemijski utjecaji sadržaja	Dodataka na koroziju je naveden u dokumentaciji $c = 2 \text{ mm}$
2.7	Abrazija	Nije posebno navedena
2.8	Sklop je izrađen tako da su komponente odgovarajuće pripremljene, izrađene i sklopljene/spojene	DA
2.9	Upute za punjenje i pražnjenje	U sklopu Uputa za montažu, korištenje i održavanje.
2.10	Zaštita od prekoračenja graničnih vrijednosti tlaka	Nije u sklopu dokumentacije
2.11	Sigurnosni pribor Graničnici tlaka/temperature	U projektu cjevovoda
2.12	Vanjski požar	Štićeno vanjskim sustavom korisnika
3.	<b>Proizvodnja</b>	
3.1	Procedure kojima se u proizvodnji osigurava ispravnost konstrukcije	Prema uputama MSM-a
3.1.1	Priprema pozicija	Prema uputama MSM-a
3.1.2	Zavareni spojevi	Prema uputama MSM-a
3.1.3	Ispitivanja bez razaranja	Naznačena procedura NDT-a
3.1.4	Toplinska obrada	Ne
3.1.5	Sljednost materijala	Prema uputama MSM-a
3.2	Konačno prihvaćanje	
3.3	Označavanje	Prema uputama MSM
3.4	Upute za rad	<b>Nalazi se u dokumentaciji.</b>
4.	<b>Materijali</b>	
4.1	Materijali za tlačnu opremu moraju zadovoljavati ispitivanja i radne parametre	Korišteni materijali su prema HRN EN 13445-2:2014 i Pravilniku o TO (NN20/15)
4.2	Materijali moraju zadovoljiti zahtjevima pri proračunu	Zadovoljavaju
4.3	Materijali moraju biti potvrđeni odgovarajućim certifikatima koji se traže za kategoriju opreme IV	Atesti materijala/PMA
5.	<b>Posebni kvantitativni zahtjevi</b>	
5.1	Dopuštena naprezanja	Naprezanja u komponentama zadovoljavaju zahtjevima primijenjenih tehničkih specifikacija
5.2	Koeficijenti zavarenog spoja	Odabrani prema primijenjenim tehničkim specifikacijama
5.3	Ograničenja tlaka	Ventili sigurnosti, sigurnosni uređaji nisu u ovoj dokumentaciji
5.4	Tlačna proba vodom	Priložena dokumentacija po kojoj će se tlačna proba provoditi u radionici i na montaži
5.5	Karakteristike materijala gradnje	Vrijednosti vlažne čvrstoće, granice razvlačenja odgovaraju traženim zahtjevima

Greške kod tlačnih posuda mogu biti grupirane u četiri glavne kategorije koje opisuju zašto je došlo do (pojava) greške i kategorije koje opisuju vrstu greške. Konstruktor mora biti upoznat s kategorijama i vrstama grešaka koje se javljaju kao i s naprezanjima i opterećenjima do kojih dolazi u tijeku procesa rada tlačne posude.

Kategorije grešaka:

- 1: materijal - neprikladan materijal, te pojava nehomogenosti u materijalu
- 2: konstruiranje - korištenje neprikladnog proračuna i metode konstruiranja
- 3: izrada - loša kontrola kvalitete te pogrešno odabrani parametri i tehnologije izrade (oblikovanje, toplinska obrada) iako tijekom izrade zavari mogu izgledati zadovoljavajuće, može doći do nedovoljne penetracije, uključaka troske i poroznosti.
4. održavanje: neadekvatno, neodgovorno i neredovito provođenje propisanih uvjeta održavanja

Radni uvjeti koji nastaju u eksploataciji i kojima treba posvetiti posebnu pažnju i za odabir materijala, oblik konstrukcije i metode izrade su:

- zamor materijala
- krhkost pri niskom temperaturama
- visoke temperature
- udarci i vibracije
- sadržaj spremnika: npr.: vodik, amonijak, komprimirani zrak, kloridi i sl.

Prilikom rješavanja navedenih vrsta grešaka konstruktor mora u potpunosti razumjeti pojave greška i stanje naprezanja u pojedinim dijelovima opreme pod tlakom te ih znati interpretirati i usporediti s ostalima naprezanjima i deformacijama i sve uvjete pod kojima će posuda biti u funkciji, kako bi se maksimalno produljio radni vijek i spriječila potencijalna opasnost od puknuća uslijed velike količine akumulirane energije. [4]

#### **11.4. Analiza rizika**

Tlačna oprema može se stavljati na tržište i u uporabu samo onda kada ne ugrožavaju zdravlje i sigurnost ljudi, životinja i imovine, pod uvjetom da je propisno montirana,

održavana i korištena u namijenjene svrhe. Tijekom eksploatacije, tlačna oprema podvrgnuta je raznim vanjskim i unutarnjim utjecajima koji utječu na njezin vijek trajanja. Vanjski i unutarnji čimbenici, koji predstavljaju potencijalni uzrok opasnosti, trebaju se predvidjeti te uzeti u obzir prilikom proračuna i izrade. Na temelju toga izrađuje se analiza rizika koja je opisana u tablici 22, gdje su obuhvaćeni uzroci opasnosti i posljedice koje se javljaju što naposljetku predstavlja rizik kao za samu funkcionalnost opreme tako i za okolinu u kojoj se oprema nalazi. U petoj koloni dano je rješenje problema koje je uzete u obzir tijekom izrade.

Tablica 22: Analiza rizika [21]

Br.	Slučaj – uzrok opasnosti	Učinak - posljedice	Rizik – opasnost	Rješenje problema - zaštita
1.	Povećanje unutrašnjeg tlaka	- izazvana naprezanja prelaze maks. dopuštena naprezanja - nenormalne promjene oblika - naprezanja/deformacije uzrok mogućeg sloma	- slom materijala - slom opreme	- posuda je proračunata na maksimalni tlak koji se može podnijeti - za posudu je predviđen sigurnosni ventil na sustavu cjevovoda
2.	Vanjski projektni tlak			- nema vanjskog tlaka
3.	Temperatura okoline	- moguće puzanje materijala - slom materijala zbog visokih temp.	- trajne deformacije tlačne posude - slom materijala	- kod odabira materijala uzeta u obzir temperatura okoline,
4.	Povećanje radne temperature	- moguće puzanje materijala - slom materijala zbog visokih temp.	- trajne deformacije tlačne posude - slom materijala	- kod odabira materijala uzeta u obzir maksimalna radna temperatura
5.	Osjetljivost na krti lom	- uzrokuje stvaranje pukotina	- slom zavarenih spojeva i materijala	- odabir odgovarajućeg materijala
6.	Vanjski požar	- moguća opasnost za svojstvo materijala	- slom materijala - nagoreni tlačni dijelovi	- predviđena zaštita od požara - instaliranje uređaja za dojavu požara - u slučaju požara opremu kontrolirati
7.	Tlak visine stupca medija kod radnih i ispitnih uvjeta	- uzrokuje povećanje projektnog tlaka	- nedovoljna debljina - moguće deformacije tlačnih dijelova	- uzeto u obzir
8.	Varijabilnost opterećenja	- uzrokuje povećanje projektnog tlaka na tlačnim dijelovima	- nestabilnost opreme - moguće deformacije dijelova opreme	- ne postoje varijabilna opterećenja
9.	Dinamički tlak fluida	- izaziva moguće vibracije i oscilacije	- oštećenje opreme i konstrukcije	- nema dinamičkog udara
10.	Masa fluida za vrijeme radnih uvjeta	- povećava težinu opreme	- slom materijala	- kod projektiranja je uzeta u obzir masa odnosno težina fluida za vrijeme rada



11.	Masa fluida za vrijeme ispitnih uvjeta	- povećava ukupnu težinu opreme	- slom materijala	- kod projektiranja je uzeta u obzir masa odnosno težina fluida za vrijeme tlačne probe
12.	Naprezanja zbog opterećenja vjetra	- moguće vibracije i oscilacije opreme i konstrukcije	- oštećenje opreme i konstrukcije	- uzeto u obzir prilikom projektiranja iako je posuda u zatvorenom prostoru
13.	Opterećenje od snijega i leda	- moguće vibracije i oscilacije opreme i konstrukcije	- oštećenje opreme i konstrukcije	- ugradnja posude u zatvorenom prostoru
14.	Opterećenje od potresa	- moguće vibracije i oscilacije opreme i konstrukcije	- oštećenje opreme i konstrukcije	- analiza naprezanja zbog potresa nije potrebna
15.	Sile i momenti od priključnih cjevovoda	- uzrokuju naprezanja koja prelaze maks. dopušteno naprezanje - nenormalne promjene oblika - naprezanje/ deformacija uzrok sloma	- trajna deformacija opreme	- cjevovod isprojektiran tako da nema prenošenja sila i momenta
16.	Sile i momenti zbog oslonca i/ili nosača na opremi	- uzrokuju naprezanja koja prelaze maks. dopušteno naprezanje - nenormalne promjene oblika - naprezanje / deformacija uzrok sloma	- trajna deformacija	- analizom naprezanja oslonca/nosača spriječiti prekoračenje maksimalno dopuštenih sila, momenata, naprezanja i pomaka dijelova opreme
17.	Korozija - unutarnja korozija - vanjska korozija		- oštećenje unutarnjih površina - oštećenje vanjskih površina	- predviđen AKZ
18.	Erozija: turbulencije, vrtloženje	Nagrizanje materijala erozijom	- oštećenje unutarnji površina	- u posudi nema turbulencija i vrtloženja
19.	Uvjeti zamora: - kolebanje tlaka stalno i/ili cikličko - vibriranje cjevovoda ili mješavine - pumpa/kompresor - kolebanje temperature	- uzrokuju naprezanja koja prelaze maks. dopuštene vrijednosti naprezanje - uzrokuju broj ciklusa koji prelazi dopušteni broj ciklusa	- trajne deformacije - slom materijala	- nema uvjeta koji uzrokuju zamor
20.	Osjetljivost na kemijsko nagrizanje	- uzrokuje koroziju materijala i stanjenje debljine	- slom zavarenih spojeva i materijala	- predviđen fluid grupe 2, te dodatak na koroziju
21.	Razgradnja nestabilnih fluida	- uzrokuje povećanje tlaka	- nestabilnost opreme - moguće deformacije	- nije primjenjivo
22.	Opterećenje kod transporta	- snažni dinamički udar kod pada zbog krivog rukovanja	- trajne deformacije opreme i/ili dijelova - povreda osoba	- striktno pridržavanje uputa isporučitelja za rukovanje i transport
23.	Opasna akumulacija zapaljivih mješavina gorivih tvari	- zagađenje atmosfere - požar, eksplozija	- opasnost za osobe - opasnost za materijal/ konstrukciju	- nema opasnosti

### 11.5. Plan kontrole kvalitete

Svrha izrade plana kontrole je stvaranje potrebnih preduvjeta za izradu, montažu i ispitivanje posuda u skladu s važećim zakonima i propisima, kako bi se osigurala potrebna kvaliteta, sigurnost i funkcionalnost posude kada bude u upotrebi. U izradi plana kontrole kvalitete po potrebi sudjeluju voditelji: kontrole kvalitete, projekta, poslovođe izrade ili montaže, tehnolozi, inženjeri zavarivanja, predstavnik uprave za sustav upravljanja kvalitetom.

Plan kontrole kvalitete svakog proizvoda, objekta ili građevine izrađuje se prije početka izrade proizvoda na temelju zahtjeva iz ugovora i drugih dokumenta prema kojima se vrši izvođenje, te važećih propisa za tu vrstu proizvoda. U tablici 23, dani je plan kontrole za izradu tlačne posude ED-241 u kojoj su navedene aktivnosti, predmeti kontrole, osoblje zaduženo za kontrolu te potvrde kontrole i/ili ispitivanja. Planovi kontrole baziraju se na zakonima, propisima, normama, ugovorenim specifikacijama i internim zahtjevima za kvalitetu.

Tablica 23: Plan kontrole kvalitete [21]

Red. br.	Aktivnosti/ Operacija/ Predmet kontrole	Vršilac, mjesto, vrijeme kontrole i/ili izrade	Potvrda kontrole i/ili ispitivanja / vrsta izvješća
1.	Projektna dokumentacija		
1.1.	Ugovorna dokumentacija	PD, PII	Sektor komercijale
1.2.	Nabavna dokumentacija	PD, PII	Odjel Nabava
1.3.	Izvedbena projektna dokumentacija	PD, PII	VP
1.4.	Radionička dokumentacija	PD, PII	TPR
1.5.	Rješenja o imenovanju odgovornih osoba	PD, PII, imenovanja	QA
2.	Dokumentacija prije početka izrade		
2.1.	Uvjerenje o podobnosti radionice za zavarivačke radove	PD / HRN EN ISO 3834-2	QA
2.2.	Specifikacija postupka zavarivanja WPS	PD	QA
2.3.	Certifikat postupka zavarivanja PQR	PD	QA
2.4.	Certifikati zavarivača	PD	QA
2.5.	Certifikati dodatnog materijala, DM	PD / EN 10204 / CDM	QA
2.6.	Skladištenje i rukovanje dodatnim materijalom	PD	QA
2.7.	Dokumentacija za KBR	PD / PKBR / UOKBR	QA
2.8.	Tehnologija zavarivanja	PD, PII / T-TZ-PV-044	QA
2.9.	Tehnologija AKZ	PD, PII / T-AKZ-PV-044	QA
2.10.	Tehnologija tlačne probe	PD, PII / T-TP-PV-044	QA

<b>3.</b>	<b>Materijali i oprema</b>		
3.1.	Rukovanje i skladištenje materijala i opreme	PD, PII	VS i/ili VP
3.2.	Identifikacija/označavanje materijala i opreme	VT 100 %	VI,QA/QC
3.3.	Pregled atestne dokumentacije	PD / COM	VS i/ili VP
<b>4.</b>	<b>Izrada</b>		
4.1.	Tijek izrade	VT 100 %	VI, PI, QA/QC
4.2.	Tehnološke operacije (osim zavarivanja)	VT 100 %	VI, PI, QA/QC
4.3.	Dokumentiranje izrade	PD, PII	VP, QA
<b>5.</b>	<b>Zavarivanje</b>		
5.1.	Priprema dokumentacije za zavarivanje	PD / certifikati zavarivača	QA
5.2.	Dodatni materijal za zavarivanje	VT 100 %	VZR
5.3.	Priprema za zavarivanje	VT 100 %, PII / WPS	VZR
5.4.	Zavarivanje	VT 100 % PII / WPS	VZR
5.5.	Dokumentiranje procesa zavarivanja	PD / DZ	VZR,QA
<b>6.</b>	<b>Zavareni spojevi</b>		
6.1.	Plast i kapa	VT 100 %, PT/MT 10 %, RT / UT 10% /Test group 3b, HRN EN 13445-5	QC
6.2.	Tlačni dijelovi a konstrukcijskim	VT 100 %	QC
6.3.	Priključak	VT 100 %	QC
6.4.	Priključak i prirubnica	VT 100 %	QC
<b>7.</b>	<b>Ispitivanja</b>		
7.1.	Tlačna proba	VT 100 %	VI, VP, QC
<b>8.</b>	<b>AKZ</b>		
8.1.	AKZ- izvođenje i ispitivanje	VT 100 %	IRO, VI, VP
<b>9.</b>	<b>Završna izvedbena dokumentacija</b>		
9.1.	Atestno tehnička dokumentacija	Pd, projekt	VP
	Vrsta, opseg i način kontrole i/ili ispitivanja	Izvršitelj, mjesto kontrole i/ili ispitivanja	Vrsta izvješća
	PII- praktično inženjersko iskustvo RT- radiografitranjem UT- ultrazvukom PT- penetrantima MT- magnetnim česticama VT- vizualna kontrola PD- pregled dokumentacije	VP-voditelj projekta VI- voditelj izrade VZR- voditelj zavarivačkih radova PI- poslovođa izrade VS- voditelj skladišta TPR- tehnička priprema rada QA- inženjer osiguranja kvalitete, nadzor QC- inženjer kontrole kvalitete KBR- kontrola bez razaranja	COM- Certifikat osnovnog materijala CDM- certifikat dodatnog materijala WPS- Uputa za zavarivanje PKBR- Procedura KBR-a UOKBR- Uvjerenje za operatera KBR-a

## 11.6. Tehnologija zavarivanja Posude ED-241

Osnovni materijal je P265GH. Svi materijali koji se ugrađuju moraju imati valjane ateste prema HRN EN 10204: Metalni proizvodi - Vrste dokumenata o ispitivanju. Svaka cijev i ugradbeni element moraju biti sljedivi. Na nacrtu ili na posebnom obrascu treba biti upisan broj šarže i broj certifikata.

### Postupci zavarivanja

Za zavarivanje cijevi i opreme, primjenjivat će se postupci zavarivanja definirani u specifikacijama postupka zavarivanja (WPS). Svi postupci zavarivanja provode se prema specifikacijama postupka zavarivanja (WPS) koje moraju biti atestirane i potvrđene atestom postupka zavarivanja (PQR).

### Dodatni materijal

Dodatni materijali za zavarivanje moraju odgovarati određenom standardu (HRN EN ili ASME/AWS) i imati valjani certifikat prema HRN EN 10204. Certifikat dodatnog materijala se na kraju predaje kao dio završne dokumentacije. Izbor dodatnog materijala izvodi se prema svojstvima osnovnog materijala i uvjetima eksploatacije. Sav potrošni materijal treba biti jednoznačno identificiran s oznakom vrste i šarže proizvoda odabranog proizvođača, te treba biti uskladišten i sušen, u originalnom pakiranju, u suhom prostoru, gdje je unutarnja temperatura viša od vanjske temperature da ne bi dolazilo do rošenja. Izabrani dodatni materijali navedeni su u specifikacijama zavarivanja (WPS) i atestima postupaka zavarivanja (PQR). Promjenu dodatnog materijala može odobriti jedino osoba odgovorna za zavarivačke radove uz suglasnost nadzornog inženjera. Osoba zadužena za nadzor zavarivanja zadužena je i za izdavanje i manipulaciju dodatnim materijalima.

### Zavarivači

Zavarivači moraju imati vrijedeći atest za materijale, debljine i promjere na kojima zavaruju na objektu. Svaki zavarivač mora imati svoju oznaku koju upisuje pored zavarivanja koji je zavarivao. Prati se kvaliteta rada svakog zavarivača, zavarivaču koji ima previše pogrešaka zabranjuje se daljnji rad.

### **Priprema spojeva za zavarivanje**

Priprema krajeva za zavarivanje može se izvoditi strojnom obradom ili toplinskim plinskim rezanjem, tako da površine ostanu ravnomjerne i glatke. Kod plinskog rezanja potrebno je brušenjem ukloniti oksidni sloj minimalno 2 mm. Krajevi koji se zavaruju, neposredno prije zavarivanja moraju biti potpuno suhi i čisti od svih nečistoća (boje, ulja, masti, oksidi). Rubovi moraju biti metalno čisti najmanje 20 mm od kraja cijevi za unutarnju površinu i ne manje od 50 mm za vanjsku površinu te ih je potrebno vizualno pregledati prije sastavljanja u spoj.

Spojevi se pripremaju prema propisanom WPS-u. U slučaju kad se spajaju elementi različitih debljina stijenki potrebno je deblju stijenku obraditi tako da se postigne lagani prijelaz debljine. Prijelaz debljina stijenki treba ravnomjerno obraditi tako da nagib prijelaza bude manji ili jednak  $15^\circ$ .

Centriranje treba izvesti tako da nema smaknuća krajeva, odnosno da se eventualna odstupanja jednoliko rasporede po cijelom obodu. Zavarivanje pomoćnih naprava, privremenih nosača, i sl. nije dozvoljeno.

Pripojne zavare smiju zavarivati samo atestirani zavarivači. Pripojne zavare treba ravnomjerno rasporediti po obodu i zavariti dodatnim materijalom predviđenim za korijenski zavar. Prije pripojnog zavarivanja, spoj treba predgrijati na traženu temperaturu. Pripojni zavari će se izbrusiti kako napreduje zavarivanje.

### **Predgrijavanje**

Predgrijavanje na zadanu temperaturu izvodi se propan-butan plinom po obodu uz zavar u širini od najmanje 100 mm od zvara. Zavisno od konfiguracije spoja mogu se koristiti vanjski i/ili unutarnji grijači.

Kontrola temperature predgrijavanja se izvodi kontaktnim termometrom ili termokredama. Temperaturu predgrijavanja kao i WPS-om propisanu međuslojnu temperaturu treba kontrolirati tijekom zavarivanja i dogrijavati ako je potrebno. Za temperaturu okoline manju od  $0^\circ\text{C}$  zavarivanje nije dozvoljeno bez izričite dozvole Nadzora.

## **Zavarivanje**

Svi postupci zavarivanja trebaju biti odobreni od nadzornog inženjera investitora prije početka aktivnosti opisanih tim postupcima. Zavarivanje se ne smije početi prije nego je Specifikacija postupka zavarivanja odobrena od strane nadzornog inženjera. Svaki zavar koji je napravljen prije pregleda i odobrenja nadzornog inženjera je predmet neprihvatanja tako napravljenog zavara. Sve informacije dane u atestaciji postupka zavarivanja, kao što su struja, napon, brzina zavarivanja, vremena i temperature toplinske obrade, moraju biti stvarni podaci izmjereni kalibriranim instrumentima.

Nije dozvoljeno zavarivati ako su površine vlažne ili orošene ili kada ako su zavarivači izloženi neodgovarajućim vremenskim uvjetima. Vlažne površine treba osušiti grijanjem i trebaju biti zagrijane koliko je potrebno za zavarivanje.

Električni luk je dozvoljeno uspostavljati jedino u šavu, a nikako na stijenci materijala. Nakon pripreme spoja predgrijavanja i pripojnog zavarivanja zavaruje se korijen. Parametri zavarivanja propisani su u WPS-u.

Nakon završenog korijenskog prolaza zavar se čisti i brusi, vizualno kontrolira, provjerava temperatura, ako je potrebno dogrijava i zavaruje sljedeći prolaz. Nakon svakog prolaza se izvodi čišćenje žičanim četkama, prati temperatura i dogrijava ako je potrebno. Početke i krajeve slojeva zavara potrebno je pomaknuti kako se ne bi poklapali s onima iz prethodnih slojeva.

Nakon završetka svakog spoja zavarivač mora upisati svoju oznaku pored zavara. Oznake zavarivača treba zaokružiti kako bi se razlikovale od oznaka zavara. Poslovođa zavarivača ili osoba odgovorna za zavarivanje u radionici treba dati oznaku pored zavara i u dokumentaciji.

Tijekom zavarivačkih radova voditi se dnevnikom zavarivanja. Dnevnik se vodi u dvije kopije i potpisuju ga osoba odgovorna za zavarivanje i nadzorni inženjer za zavarivanje. Dnevnik zavarivanja može voditi i osoba koju ovlasti osoba odgovorna za zavarivanje. Dnevnik zavarivanja moguće je voditi i na kompjuterskom obrascu.

Toplinska obrada nakon zavarivanja, ukoliko se vrši, treba biti u skladu s predmetnim normama i zahtjevima ove specifikacije. Pisana procedura koja opisuje opće zahtjeve za toplinsku obradu nakon zavarivanja treba biti dostavljena na pregled i odobrenje investitoru odnosno nadzornom inženjeru. Procedura toplinske obrade treba sadržavati opis opreme, način grijanja, poziciju i vrstu opreme za grijanje, mjerenje temperature i pozicije termoparova (termometara). Prije početka obavljanja toplinske obrade, izvođač treba pripremiti popis s prikazanim svim spojevima ili dijelovima za koje je potrebna toplinska obrada i dostaviti ga investitoru na pregled. Zavarivanje i grijanje nakon završetka toplinske obrade nije dozvoljeno bez odobrenja investitora.

### **Kontrola kvalitete**

Ispitivanje nerazornim metodama za konačno odobrenje treba biti u skladu s primijenjenim normama. Dodatna ispitivanja nerazornim metodama može obaviti izvođač radova prije postupaka toplinske obrade da se eliminiraju svi razlozi za neprihvatanje zavora. Nepravilne površine uključujući završni zavar trebaju biti glatko izbrušene da se postigne potrebna točnost za provedbu postupka neraznog ispitivanja. Nadzorni inženjer može zatražiti obavljanje dodatnih kontrola svakog zavarenog spoja u svakoj fazi izrade, kao i ponovnu kontrolu već napravljenih kontrola zavarenog spoja. Nadzorni inženjer ima pravo zatražiti ili provesti nezavisno ispitivanje metodom bez razaranja svakog spoja. Zavareni spojevi koji ne zadovoljavaju minimum zahtjeva definiranih primijenjenim normama trebaju biti popravljani ili zamijenjeni na trošak izvođača radova.

U okviru laboratorija za ispitivanje bez razaranja, TPK-ZAVOD-a, provedena su radiografska ispitivanja zavarenih spojeva na posudi ED-241 te ispitivanja penetrantom.

Za organizaciju ispitivanja, izbor opreme, te kompletan nadzor nad laborantima 1. i 2. stupnja odgovoran je voditelj laboratorija po pojedinim metodama. IBR laboranti 1. stupnja odgovorni su za provođenje ispitivanja, a za ocjenu nalaza i izradu izvješća odgovorni su 2. i 3. stupanj. Laboranti 1. i 2. stupnja kvalificirani su i certificirani prema HRN EN ISO 9712.

Način i opseg provedbe kontrole kvalitete postupcima bez razaranja propisan je projektom, a opseg ispitivanja za posudu ED-241 dani su u tablici 24.

Ispitivanje prema postotku slučajnim odabirom (npr. 10% zavara koje treba ispitati) definirano je kao kontrola u opsegu 100% zavarenog spoja prema specifikaciji postupka zavarivanja (WPS) koju je napravio svaki zavarivač. Prva dva zavara svakog zavarivača, trebaju biti uključena u opseg ispitivanja od 10%.

Ispitivanje treba biti napravljeno paralelno s izvođenjem radova, za svaki zavar koji je kvalificiran kao zavar s greškom i još dva dodatna reprezentativna zavara. Ako su dodatni zavari bez grešaka, zavar za koji je utvrđeno da ima grešku u prvom ispitivanju treba popraviti ili napraviti ponovo.

Ako jedan od dva dodatno ispitana zavara ima grešku, svi zavari tog zavarivača trebaju biti:

- u potpunosti ispitani nerazarajućom metodom i primjereno popravljeni ili
- potpuno zamijenjeni (postojeće izbrusiti i ponovo sve zavariti) na trošak izvođača radova.

Svaki zavarivač ili operator zavarivanja koji ima više od 10% zavara napravljenih s nedozvoljenom greškom ne smije više obavljati poslove zavarivanja ili svi njegovi zavari trebaju biti ispitani nerazornim metodama u opsegu 100% dok ne postigne dogovoreni stupanj ispravno napravljenih zavara između izvođača radova i investitora.

Tablica 24: Način i opseg provedbe nerazornih ispitivanja [21]

Tip zavara	Vrsta i obim NDT		
	VT	RT/UT	MT/PT
Plast i kapa	100%	10% Test grupa 3b, HRN EN 13448-5	10%
Priključci	100%		10%
Kružni zavar priključka i prirubnice	100%		10%
Tlačni dijelovi s konstrukcijskim	100%		
VT- vizualno ispitivanje	MT- ispitivanje magnetnim česticama		
UT- ultrazvučno ispitivanje	PT- ispitivanje penetrantima		
RT- radiografsko ispitivanje			



Zavar se smije popravljati dva puta. Ako zavar i nakon drugog popravka nije prihvatljiv, jedino nadzorni inženjer smije dozvoliti dodatni popravne radove ili tražiti da se izreže napravljeni zavar. Popravak zavara treba napraviti prema stručno napravljenoj i odobrenoj proceduri. Popravak koji se primjenjuje prije završetka izrade spoja, koristeći istu proceduru za zavarivanje s kojom je započet postupak spajanja ne zahtijeva dodatnu proceduru. Svi zavari koji su bili popravljani trebaju kao barem biti ispitani na način kako je propisano izvornom procedurom za zavarivanje. Nadzorni inženjer može zahtijevati dodatne testove ako smatra da su potrebni za dokazivanje ispravnosti zavarenog spoja.

### 11.7. Antikorozivna zaštita

Izvođenje i kontrola antikorozivne zaštite obavljati se u skladu sa zahtjevima projekta. Prilikom izvođenja radova potrebno je pridržavati se svih propisa zaštite na radu i zaštite od požara.

Antikorozivna zaštita konstrukcije, provodi se radi zaštite tlačne posude od korozije. Način izvođenja antikorozivne zaštite ovisi o vrsti zaštite i može se podijeliti na slijedeće dijelove:

- Priprema površine
- Temeljni premaz
- Završni premaz

Pri izvođenju antikorozivne zaštite površine je potrebno odmastiti brisanjem čistim krpama ili četkama natopljenim propisanim organskim rastvaračima ili vodenom otopinom tenzida (sredstva koja snižavaju površinsku napetost). Nakon odmašćivanja čeličnu površinu obrisati suhim čistim krpama. Stupanj potrebne čistoće, tj. stupanj potrebne pripreme površine ovisi o:

- Materijalu i vrsti opreme
- Uvjetima eksploatacije opreme
- Kvaliteti površine
- Sustavu za zaštitu od korozije

Antikorozivna zaštita se ne smije izvoditi ako je površinska temperatura okoline manja od 10 °C, te relativna vlažnost veća od 85%. Svi korišteni materijali moraju imati odgovarajuće ateste. Ličenje se mora provesti odmah nakon pjeskarenja, a najkasnije nakon 4 sata.

Izvoditelj radova treba prije početka radova staviti nadzornom inženjeru na uvid sve podatke o sredstvima koje će upotrijebiti za čišćenje površine čeličnih konstrukcija, kao i tehnologiju čišćenja. Izvođač radova treba nakon provedenih priprema i čišćenja površina, a prije nanošenja sredstava za zaštitu od korozije pozvati nadzornog inženjera, koji treba ustanoviti, da li je priprema i čišćenje površina izvedeno prema specifikaciji radova i na propisan način

Nakon nanošenja svakog sloja premazanog sredstva, izvođač radova, treba izvršiti vizualni pregled i ustanoviti debljinu sloja (filma) ultrazvučnim mjerilom, te pozvati nadzornog inženjera koji će izvršiti kontrolu debljine sloja i stupnja pranja premaza. Kada nadzorni inženjer ustanovi da nanese sloj primarnog sredstva zadovoljava debljinom i prionjivosti sredstva i da sloj nije oštećen, dozvolit će nanošenje sljedećeg sloja, odnosno naredit će da se oštećeni dijelovi površina ili dijelovi kod kojih pranje nije prema specifikaciji radova, prethodno očiste i ponovno premažu. Nakon nanošenja završnog premaza potrebno je provjeriti ukupnu debljinu premaza. Izvedenu vizualnu kontrolu, kontrolu debljine premaza nadzorni inženjer treba potvrditi zapisnikom gdje je ustanovljeno da li su mjerenja i provjere zadovoljili uvjete specifikacije i propisa te da li je dovršena zaštita opreme u cjelini. U tablici 25 navedeni su podaci o izvedenoj antikorozivnoj zaštiti.

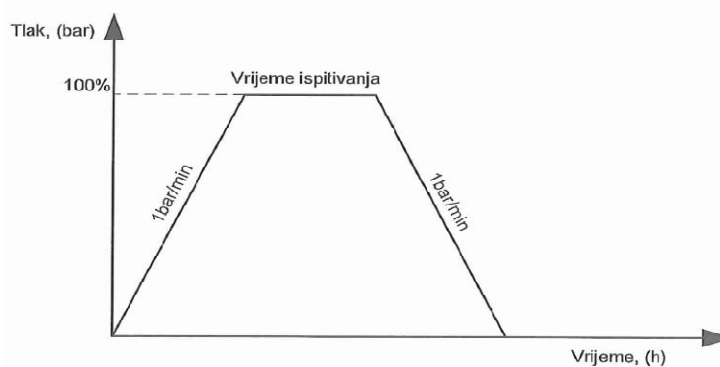
Oštećenu zaštitu (mjesto na kojima se utvrdi nepravilnost) treba ponovno pripremiti i premazati kako je navedeno u gornjoj specifikaciji.

Tablica 25: Podaci o izvedenoj antikorozivnoj zaštiti [21]

Kontrola	Referentni propis ili standard	Minimalni zahtjevi
Priprema površine	Čišćenje površine izvesti pjeskarenjem do stupnja Vizualna kontrola u skladu s ISO 129445-5	Sa 2,5
Temeljni premaz	Epoxy (HEMPADUR 15570),	80 $\mu\text{m}$
Završni premaz	Epoxy polyurethane RAL 9002 (HEMPATHANE TOPCOAT 55210),	120 $\mu\text{m}$

### 11.8. Tlačna proba

Prije provedbe tlačne probe, potrebno je provjeriti da li su svi zavareni i prirubnički spojevi izrađeni pravilno, te da li su izvedeni svi priključci za odzračivanje i drenažu. Od tijela za ocjenu sukladnosti potrebno je dobiti ovlaštenje za početak ispitivanja. Tlačna proba provoditi provedena je na način da se tlačnom crpkom povisivao tlak 1 bar/min dok se ne dosegne ispitni tlak u iznosu od 9 bar. Postignuti ispitni tlak potrebno je održavati minimalno 30 min, odnosno koliko je potrebno da se pregledaju svi spojevi. Nakon toga tlak je potrebno smanjivati 1 bar/min do okolišnog tlaka. Na slici 14 prikazan je dijagram toka ispitivanja.



Slika 14: Dijagram ispitivanja tlačnom probom [23]

U toku punjenja sistema do predviđenog ispitnog tlaka periodički će se provoditi odzračivanje (na svim raspoloživim odušcima) da bi se spriječilo pojavljivanje zračnih džepova. Nakon punjenja sistema što će rezultirati istjecanjem vode kroz odušne otvore, potrebno je zatvoriti iste. Za vrijeme ispitivanja, temperatura okoline treba biti iznad  $+5^{\circ}\text{C}$  po mogućnosti sa što manjim oscilacijama tijekom ispitivanja.

Očitavanje tlaka (položaj instalacije ispitnog manometra) mora biti na najvišoj točki posude. Za vrijeme ispitivanja, zabranjeno je bilo kakvo otklanjanje nedostatak (npr. zavarivanjem). Provedba ispitivanja izvodi se vizualnim metodom ispitivanja s tim da će se svi spojevi kako zavareni tako i rastavljivi budi pristupačni vizualnom pregledu za vrijeme ispitivanja. Nakon uspješne probe, iz posude će se ispustiti voda. Nakon provedbe tlačne probe nije dozvoljeno zavarivanje.

Oprema za izvođenje ispitivanja mora biti odabrana u skladu s uvjetima instalacije, bez oštećenja kako bi funkcionirala besprijekorno, odnosno omogućila kvalitetno izvođenje ispitivanja. Mjerenje se obavlja s dva manometra (ispitnim i kontrolnim) odgovarajućeg mjernog područja i podjele mjerne skale, klase 1.0. Raspon skale ne smije biti veći 3x ispitni tlak. Manometri moraju imati izvješće o ispitivanju od strane ovlaštene institucije.

Prilikom ispitivanja posude osigurati prisutnost tijela za ocjenu sukladnosti. Smatra se da je ispitivanje na čvrstoću uspjelo ako se vizualnom kontrolom ustanovi da nema propuštanja na spojevima, te ako nema pada tlaka na ispitnom i kontrolnom manometru. Ukoliko se uoče neka propuštanja, pristupa se pražnjenju posude, te popravku mjesta propuštanja. Uspješnost ispitivanja potvrđuje se zapisnikom/izvješćem o izvedenom ispitivanju.

## **11.9. Upute za montažu**

Za pravilnu i sigurnu upotrebu posude, tijekom transporta, postavljanja, rada i održavanja izrađena je uputa za montažu u kojoj su dati svi bitni naputci.

### **Uputstva za transport**

Posuda je transportirana u horizontalnom položaju oslonjena na dva oslonca. Mase i dimenzije opreme, alat za podupiranje, oznaka težišta posude, orijentacija i oprema za podizanje kao i instrukcije za daljnje postupanje navedene su na odgovarajućem crtežu za transport. Odgovornost prijevoznika posude je da osigura adekvatno učvršćenje prilikom prijevoza za vozilo kako se posuda ne bi oštetila. Za osiguravanje protiv pomicanja posuda tijekom transporta ne smiju se koristiti vanjski priključci niti oslonci ako drugačije nije

dogovoreno s proizvođačem opreme ili ako nije jasno naznačeno na važećem crtežu za transport. Zavarivanje kako bi se osiguralo učvršćenje posude tijekom transporta nije dopušteno.

### **Uputstva za podizanje**

Kako bi se izbjegle bilo kakve deformacije ili trajna oštećenja, posuda mora biti podizana pomoću lanaca / užadi / traka koji su zakvačeni ili usidreni na pozicijama označenim na važećem crtežu za transport. Provjera podataka o masama navedenim na važećem crtežu za transport, te dopuštenom opterećenju i mogućnosti nošenja lanaca / užadi / traka pomoću kojih se podiže posuda odgovornost je osoblja koje je uključeno u transport i podizanje posude. Osoblje zaduženo za transport i podizanje posude odgovorno je za mogućnost pojave smanjene nosivosti lanaca / užadi / traka zbog njihovog trošenja.

### **Zaštita površina**

Posuda mora biti pravilno zaštićena kako bi se osiguralo da ne dođe do oštećenja tijekom transporta. Svi prirubnički spojevi koji nemaju slijepu prirubnicu trebaju biti zatvoreni drvenim ili čeličnim poklopcima i gumenim brtvama. Sve dodirne površine u kontaktu s brtvom zaštićene su slojem Tecyl 506 boje. Svi priključci s navojem trebaju biti zatvoreni plastičnim čepovima s navojem.

### **Kontrola na gradilištu**

Nakon isporuke na gradilište posuda će se vizualno pregledati u o kraćem roku. Izvješće o svakom uočenom oštećenju bit će u pisanom obliku i ako je moguće s popratnim fotografijama. Izvješće treba predati voditelju gradilišta. Ako će stanje isporučne posude na gradilištu izazvati sumnju na moguća nevidljiva oštećenja, spremnik će se podvrgnuti hidrostatskom ispitivanju na ispitni flak naveden na natpisnoj pločici. Bez pismenog odobrenja proizvođača ne smiju se provoditi nikakve izmjene niti popravci. U slučaju neovlaštene intervencije garancija proizvođača na spremnik automatski prestaje vrijediti. Zabranjeno je odstranjivati zaštitne čepove s priključaka osim u slučaju ako su priključak ili čep oštećeni te ako se zahtijeva unutarnja inspekcija.

### **Upute za skladištenje**

Posuda će biti uskladištena na isti način kako je i transportirana. Oslonci korišteni tijekom transporta i poklopci korišteni za zaštitu brtvenih površina trebaju se odstraniti nakon postavljanja na temelje. Tijekom skladištenja neophodno je najmanje jednom mjesečno provjeravati stanje obojenih površina opreme. U slučaju da je boja oštećena ili su uočeni prvi znakovi hrđe treba se pristupiti popravku oštećenih površina sukladno uputama proizvođača.

### **11.10. Mogućnosti unaprjeđenja sustava**

Društvo MONTER- STROJARSKE MONTAŽE d.d. u svojoj dugoj praksi ulaže velike napore za prisutnost svojih pretežno montažerskih usluga na visoko konkurentnom domaćem i vanjskom tržištu. Stalnim zalaganjem za kvalitetnije izvedbe ugovorenih radova i u tu svrhu odgovarajućom izobrazbom djelatnika postigla se i održava visoka razina kvalitete te se ulažu znatni naponi za daljnje poboljšanje kvalitete. Uprava Društva svjesna je da se jedino na taj način postiže visoka konkurentnost na tržištu kao i dobivanje povjerenja kupaca.

Usmjerenost na zadovoljstvo kupca izvršenim poslom najvažnija je vrijednost prema kojima MONTER-SM mjeri i određuje svoju uspješnost. Prikupljanje i analiza informacija o dojmovima kupaca o tome da li su zahtjevi kupaca zadovoljeni. Poboljšanja u MSM-u stalno analiziraju i poboljšavaju djelotvornost primjenom politike kvalitete, definiranjem ciljeva, analiziranjem rezultata provedenih audita, analizom podataka.

Kako bi se utvrdilo da je sustav upravljanja kvalitetom tj. djelatnosti i rezultati u skladu s planiranim postupcima i zahtjevima organizacija provoditi unutrašnje neovisne ocjene/audite u planiranim razmacima. Naravno uz to, svakodnevno je potrebno promatranje i analiza rada te osiguranje neprekidne primjerenosti, prikladnosti i učinkovitosti procesa proizvodnje koji je sukladan sa zahtjevima svih primjenjivih zakonskih i ostalih propisa te normi.

Unatoč navedenoj kontroli postoji povremena mogućnost javljanja nesukladnosti. Nesukladnost je neispunjenje bilo kojeg postavljenog zahtjeva, obuhvaća odstupanje ili odsutnost jednog ili više svojstava kvalitete. Analizom se dolazi do podataka o mogućim potencijalnim nesukladnostima na osnovu čega se donosi odluka o pokretanju mjera radi

sprečavanja potencijalnih nesukladnosti. Primjenom analize podataka vezani uz nesukladnosti koriste se dijagrami uzorka i posljedica gdje se proširivanjem dijagrama dolazi sve do najmanjih uzorka.

Vrlo važan element stalnog poboljšanja je upravljanje korektivnim i preventivnim aktivnostima. Potrebno je poduzimanje aktivnosti uklanjanja uzorka nesukladnosti radi sprječavanja njihova ponavljanja.

Svaki proizvod tijekom proizvodnje potrebno je ispitati kao i nakon proizvodnje. Inspekcijom se utvrđuje da proizvod svojom konstrukcijom, korištenim materijalima i ispitivanjima sukladan zahtjevima proizvodne norme te odgovara priloženoj dokumentaciji. Samim time potrebno je osigurati da osobe koje provode završnu kontrolu nisu one osobe koje su provodile ili nadzirale proizvodnju/ montažu.

Za osiguranje kvalitete zavarenog spoja i omogućavanje ekonomičnosti proizvodnje, cijeli proces zavarivanja potrebno je kontrolirati od samog početka. Da bi se u obzir uzeli svi učinci koji mogu utjecati na proces zavarivanja, potrebno je uvesti sustav osiguranja kvalitete. Međunarodnim standardom ISO 3834: Zahtjevi za kvalitetu zavarivanja taljenjem metalnih materijala propisani su zahtjevi koje proizvođač moraju ispuniti kako bi mogao primijeniti adekvatne postupke u procesima zavarivanja.

Za uspješnu realizaciju svih projekta potrebna je konstantno usavršavati i razvijati stručno i ambiciozno osoblje i ulagati u opremu i tehnologiju koristeći se modernim i inovativnim rješenjima. Primjenom automatizirano zavarivanja osim što se skraćuje vrijeme i postiže ekonomičnost proizvodnje, smanjuje se i broj grešaka, a samim time i broj potrebnih popravaka. Na temelju iskustva dokazano je da kvalitetnom dokumentacijom procesa proizvođač je sposoban efektivno provesti cijeli proces izrade, a sam time poboljšati i produktivnost. Iz tog razloga, vrlo važno je slijeđenje svih aspekta navedenih u WPS-u što se tiče pripreme, predgrijavanja, parametara zavarivanja i sl. Zbog toga je potrebno podizanje svijesti kod radnika što se tiče kvalitete i načina izrade jer to ne samo što ima financijski učinak već je i vrijeme potrebno za provedbu procesa kraće.

## 12. ZAKLJUČAK

Tlačne posude imaju široku primjenu u različitim granama industrije što ih čini vjerojatno najraširenijim strojarskim konstrukcijama u okviru različitih industrijskih sektora. S obzirom na to da oprema pod tlakom može biti niske i visoke razine opasnosti, vrlo je važno obratiti pozornost na ljudsko zdravlje, sigurnost ljudi, životinja, okoliša i imovine. Razlog tomu je što razlika između tlakova unutar posude i izvan nje predstavlja potencijalnu opasnost jer može doći do katastrofalnih posljedica zbog velike količine akumulirane energije što ju sadrži posuda.

Iz tog razloga izrađeni su standardi i norme koje propisuju kako posudu pod tlakom proračunati i konstruirati, a da pri eksploataciji ne dođe do kvarova, otkaza ili nezgoda opasnih po ljudski život. Isto tako pri projektiranju, izradi i ispitivanju posuda pod tlakom treba sagledati i ekonomsku stranu kako bi postigli odgovarajuće standarde sigurnosti uz minimalne troškove.

Unatoč kvalitetnoj proizvodnji iz kvalitetnog materijala potrebne su konstantne kontrole tlačnih posuda zbog posljedica naprezanja koja nastaju na stijenkama posude te korozije koja se javlja zavisno o vrsti fluida koji je sadržan u posudi.

Za osiguranje kvalitete izrade potrebno je pridržavati se i provoditi sljedeće:

- uporaba isključivo materijala s certifikatom, koji imaju projektom i propisima garantirana i propisana svojstva
- svi tehnološki postupci izrade pojedinih komponenti moraju se izvoditi u skladu s propisima, zahtjevima projektanta i proizvođača materijala i opreme
- ugrađeni materijali i proizvodni postupci, kao i pojedini izvodioči (npr. zavarivači), moraju imati odgovarajuće certifikate i drugu dokumentaciju o ispunjavanju svih propisanih zahtjeva



Izvedba svih radova treba biti prema nacrtima, općim uvjetima i opisu radova, detaljima i pravilima struke. Eventualna odstupanja treba prethodno dogovoriti s nadzornim organom i projektantom za svaki pojedini slučaj. Prije početka radova izvođač treba kontrolirati na gradilištu sve mjere potrebne za rad opreme te pregledati sve podloge prema kojima će se izvoditi radovi.

Tlačna posuda ako se stavlja na tržište treba imati oznaku sukladnosti, odgovarajući certifikat Tijela za ocjenu sukladnosti i Izjavu o sukladnosti proizvođača. Proizvodi koji su proizvedeni na području Europskog gospodarskog prostora i izvan njega, a koji se zatim stavljaju na tržište na području EGP-a moraju imati oznaku CE kojim se dokazuje da je proizvod ocijenjen i da ispunjava sve zahtjeve EU-a u području sigurnosti, zdravlja i okoliša. Ako se proizvedena tlačna oprema želi ponuditi na tržištima SAD-a i Kanade, odnosno izvan granica Europe, nužno je da proizvodi budu usklađeni sa zahtjevima ASME propisa.

### 13. LITERATURA

- [1] Narodne novine NN 79/2016: Pravilnik o tlačnoj opremi
- [2] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva: Zbirka naputaka iz područja opreme pod tlakom, Zagreb 2009.
- [3] HRN EN ISO 9001:2000- Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi
- [4] Dokumentacija tvrtke Monter- strojarske montaže d.d.
- [5] Moss D., Basics M.: Pressure vessel design manual, Elsevier, Oxford, 2013.
- [6] Fryer D.M., Harvey J.F.: High Pressure Vessels, Springer, 1998.
- [7] Ivušić V., Franz M., Španiček Đ, Čurković L.: Materijali 1, FSB, Zagreb, 2011.
- [8] Filetin T., Kovačiček F., Indof J.: Svojstva i primjena materijala, Zagreb, 2009.
- [9] Švaić S. Despot Ž., Drusany M: Opseg i sadržaj dokumentacije za opremu pod tlakom u glavnom i izvedbenom strojarskom projektu, Upravni odbor HKIS 2011.
- [10] Ellenberger J.P., Chuse R., Carson B.E.: Pressure Vessels : ASME Code Simplified, The McGraw- Hill, 2004.
- [11] BS EN 13445: 2009- Unfired pressure vessels - Part 4: Fabrication
- [12] BS EN 12952: 2001- Water-tube boilers and auxiliary installations - Part 5: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler
- [13] Filetin T.: Izbor materijala pri razvoju proizvoda, FSB, Zagreb, 2006.
- [14] NN 27/2017: Pravilnik o pregledima i ispitivanju opreme pod tlakom
- [15] OPT agencija, <http://www.opt-agencija.hr>, dostupno :16.04.2017.
- [16] Juraga I., Ljubić K., Živčić M., Garašić I.: Pogreške u zavarenim spojevima, Zagreb, 2015.
- [17] Markučić D.: Nerazorna ispitivanja, autorizirana predavanja, FSB, 2016.
- [18] BS EN 13445-5: 2009 -Unfired pressure vessels - Part 5: Inspection and testing
- [19] EN 12952: 2011- Water-tube boilers and auxiliary installations- Part 6: Inspection during construction; documentation and marking of pressure parts of the boiler

[20] [http://europa.eu/youreurope/business/product/ce-mark/index\\_hr.htm](http://europa.eu/youreurope/business/product/ce-mark/index_hr.htm), dostupno: 16.04.2017.

[21] Dokumentacija za izradu tlačne posude ED-241, Monter- strojarske montaže d.d.

## **14. PRILOZI**

### **I. CD-R disc**